

Bas-fonds et riziculture en Afrique

Approche structurale comparative

M. RAUNET (1)

RÉSUMÉ — Le concept de bas-fond est défini : l'originalité de ce type de milieu et son intérêt pour la riziculture en régions intertropicales, spécialement en Afrique, sont soulignés. Puis, sont passées en revue et comparées les caractéristiques spécifiques, l'organisation et le fonctionnement hydrologique des bas-fonds sur socle cristallin à l'intérieur des grands domaines morphoclimatiques africains (domaines soudano-sahélien, soudano-guinéen, zambézien, humide). Pour chaque famille de bas-fonds sont précisés, en relation avec le paysage environnant, le modelé, les matériaux et les régimes hydrologiques. Chaque bas-fond, avec ses différenciations spatiales en « unités de milieu » en relations génétiques les unes avec les autres, et avec sa dynamique de fonctionnement, constitue un petit système, différent d'un domaine régional à un autre ; chaque unité a une aptitude spécifique à la riziculture et demande des techniques particulières de mise en valeur. Il n'y a pas une riziculture de bas-fond mais des rizicultures en bas-fonds.

Mots clés : Riziculture, bas-fonds, nappe phréatique, sols hydromorphes, Afrique.

Si on met à part la riziculture de mangrove et la riziculture flottante, qui ont leurs problématiques spécifiques liées à des types de milieu bien particuliers, et si on considère le régime hydrique et le degré d'aménagement nécessaire, on peut dire qu'il existe, en régions tropicales, deux types « extrêmes » et opposés de riziculture : d'une part le riz pluvial « strict » (types javanica), alimenté exclusivement par les pluies, cultivé sur sol toujours parfaitement et naturellement drainé, ne nécessitant pas d'aménagement (si ce n'est contre l'érosion), et d'autre part le riz irrigué, à régime d'inondation parfaitement contrôlé (types indica) demandant des aménagements hydro-agricoles soignés et constamment entretenus. Ces deux rizicultures s'opposent par leurs exigences édaphiques, leurs méthodes de culture, leurs variétés.

Le riz pluvial strict, on le sait, est essentiellement dépendant de la répartition des pluies, de la capacité de rétention en eau du sol et de la pénétrabilité de celui-ci par les racines, facteurs qui conditionnent son alimentation hydrique. Le riz pluvial, en conditions de bon drainage, est également sensible à une teneur excessive en aluminium échangeable, donc à l'acidité du sol. D'autres problèmes se posent souvent à ce type de riziculture, tels

la lutte contre la pyriculariose, contre les mauvaises herbes et contre l'érosion. Le maintien de la fertilité doit également être un souci constant : fertilisation, amendements, rotations et travail du sol doivent être spécifiquement étudiés et combinés en fonction des types de milieu.

Quant à la riziculture irriguée, son champ de réalisation demande certaines situations de milieu favorables (eau en quantité suffisante et zones planes, généralement en plaines alluviales), des investissements onéreux, des entretiens constants par un paysannat motivé, d'un bon niveau technique, ayant une compétence et des traditions ancestrales en ce domaine. Ces dernières exigences sont rarement réunies en Afrique.

Les conditions socio-culturelles et naturelles du continent africain, à l'heure actuelle, ne sont pas toujours favorables aux deux grands types de riziculture précédents. En revanche, la riziculture pratiquée en bas-fond, avec des aménagements réduits, bénéficie de certaines traditions qu'il paraît opportun d'améliorer et d'élargir. En effet, les bas-fonds, c'est-à-dire les petites vallées et axes déprimés, qui en Afrique constituent le réseau de drainage élémentaire des épaisses altérations, représentent une superficie très importante (évaluée à 1,3 million de km²) et réunissent des conditions hydropédologiques favorables à la riziculture. Bien que source de problèmes nouveaux (en particulier en matière de recherche de variétés adaptées), la mise en valeur de ces types de milieu permet, dans une certaine mesure, de s'affranchir des contraintes climatiques et socio-économiques énoncées précédemment.

Nous appelons « bas-fonds », en région intertropicale, les fonds plats ou concaves des vallons, petites vallées et gouttières d'écoulement inondables qui constituent les axes de drainage élémentaires emboîtés dans les épaisses altérations des socles cristallins « pénéplanisés ». Les bas-fonds représentent des « unités de milieu » spécifiques et essentielles au sein des paysages tropicaux. Ce sont les axes de convergence préférentielle des eaux de surface, des écoulements hypodermiques et des nappes phréatiques contenues dans l'épais manteau d'altération et alimentées par les pluies. Contrairement à des vallées alluviales « classiques », les bas-fonds ne sont pas le siège d'une dynamique sédimentologique et hydrologique brutale : par leur densité et leur largeur souvent remarquables, ils représentent cependant une partie importante (les parties amont) des réseaux de drainage. Leurs sols sont engorgés ou submergés pendant une période

(1) IRAT-CIRAD, BP 5035, 34032 Montpellier Cedex, France.

plus ou moins longue de l'année par une nappe d'eau correspondant à des affleurements de nappe phréatique et à des apports par ruissellement. Cette concentration privilégiée des eaux, mise à la disposition de la riziculture (dans des conditions variables, que nous étudierons) n'est qu'indirectement liée, spatio-temporellement, à la pluviométrie : en effet, les eaux de pluies subissent, pendant un temps plus ou moins long, un transfert dans les matériaux d'altération situés sous la surface ou un transport latéral, par les ruissellements de surface ; l'inertie de cette dynamique est exploitable par la riziculture puisqu'elle permet d'amortir l'effet négatif de la variabilité et de l'irrégularité des pluies. Des régions à pluviométrie inférieure à 1 100 mm, ce qui est considéré comme trop « limite » pour le riz pluvial strict, pourront être rizicultivées dans les bas-fonds. On voit également l'intérêt d'exploiter ces types de milieu dans les régions où il y a des risques imprévisibles d'interruption néfaste des pluies pendant la saison pluvieuse et où les sols des interfluvés, à faible épaisseur utile, trop sableux ou trop filtrants, possèdent une faible capacité de rétention en eau. Ces conditions défavorables affectent une grande partie de l'Afrique, spécialement les régions à saisons contrastées.

Contrairement aux rizicultures « pluviale stricte » et « irriguée », la riziculture « de bas-fond » est plus difficile à définir en terme exclusif de régime hydrique. On pourrait la qualifier de « riziculture mixte » c'est-à-dire « pluviale-phréatique-inondée ». Dans le fonctionnement hydrologique des bas-fonds, les parts respectives de la pluie directe, de la nappe phréatique, du ruissellement et du débordement des cours d'eau sont en effet très variables, non seulement spatialement d'un bas-fond à un autre ou d'un endroit à un autre dans un bas-fond particulier, mais encore durant le cycle du riz pour une situation donnée. On peut cependant considérer comme invariante la contribution, pendant une période plus ou moins longue, d'une nappe phréatique. Une caractéristique prédominante d'un bas-fond est l'intrication complexe du régime des eaux, ce qui n'exclut pas sa compréhension et sa relative prévisibilité, déterminée en fonction de ses interrelations causales avec les autres composantes de l'environnement, souvent plus aisées à identifier.

Pour mettre un peu d'ordre dans ce concept de riziculture de bas-fond, il nous semble intéressant de faire une étude géographique comparative concernant la structure, la genèse et le fonctionnement hydrologique des principales familles de petites vallées existant en Afrique et à Madagascar. Nous voulons montrer qu'il existe un ordre cohérent et logique dans une diversité apparemment très désordonnée. Nous verrons comment on passe d'un système de drainage à un autre au fur et à mesure que l'on passe d'un ensemble « morphoclimatique » à un autre, chacun étant étroitement lié à son histoire géomorphologique et paléoclimatique, elle-même corrélée, en dernière analyse, mais de façon assez lâche, à la pluviométrie actuelle. Les composantes en interactions spécifiques que nous étudierons, qui donnent son « cachet » à chaque famille de bas-fonds sont : le modelé des vallées, les

matériaux et les sols qu'on y trouve, et enfin les régimes hydrologiques qui les traversent. Nous verrons comment ces composantes se déterminent mutuellement dans un bas-fond donné et quelles sont leurs relations avec les caractères des interfluvés.

Cette analyse structurale nous permettra de dégager des lois générales concernant les particularités pédologiques et hydrologiques des petites vallées, à l'échelle du continent africain. Le but sera de tirer des conclusions, pour chaque famille de bas-fonds, concernant les contraintes et facteurs favorables pour la riziculture, les modalités possibles d'utilisation, les aménagements adaptés, envisageables dans le contexte africain. L'objectif est d'exploiter au mieux le régime hydrologique naturel plutôt que de le contrecarrer, et d'éviter de créer des aménagements passe-partout trop coûteux ou inadaptés.

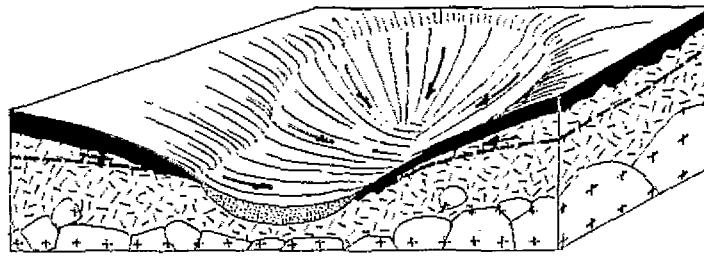
Le concept de bas-fond intertropical

Caractères généraux

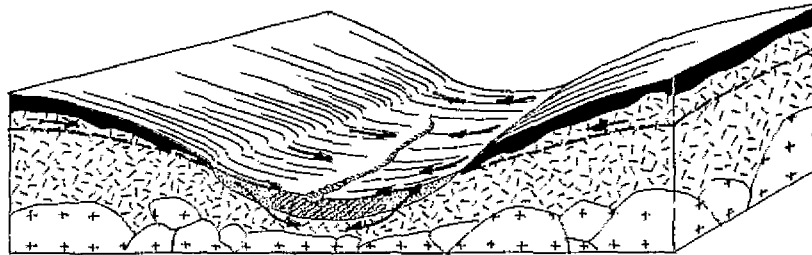
Les paysages intertropicaux à pluviométrie comprise entre 700 et 2 000 mm, drainés par ces petites vallées, sont matelassés par des altérations épaisses s'intercalant entre la surface et la roche saine : de quelques mètres en régions sèches, elles peuvent atteindre la quarantaine de mètres en régions humides. Ces altérites sont le siège d'une nappe phréatique. Celle-ci est discontinue et temporaire en région sèche, alors qu'elle est généralement continue et permanente en région humide. Pendant l'année, elle subit, en liaison avec la répartition des pluies qui l'alimentent, des fluctuations verticales et des écoulements latéraux dans sa partie supérieure : ces derniers convergent vers les bas-fonds, à proximité desquels ils peuvent affleurer. Cette dynamique est une propriété fondamentale de ces types de milieu, qui permet leur existence. Un réseau de bas-fonds présente généralement, d'amont en aval et transversalement une différenciation en trois tronçons (figure 1).

Le tronçon 1 : têtes de bas-fonds

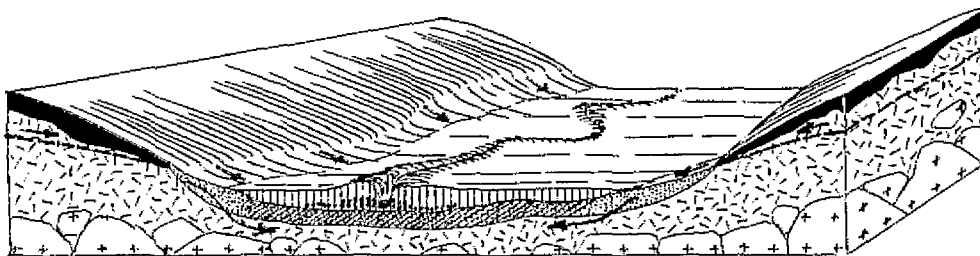
Il s'agit de l'extrême amont, qui montre, sur une distance variable (courte si la région est sèche, longue si elle est humide), un profil transversal concave, sans cours d'eau individualisé. Les têtes de bas-fond sont le plus souvent élargies en « spatule » ou en « amphithéâtre ». Les sols sont sableux ; l'altération en place est proche de la surface. Il n'y a pas encore d'alluvions ni de colluvions (au sens habituel du terme) proprement dites. La nappe phréatique y affleure librement en saison des pluies et s'écoule latéralement vers l'aval. Génétiquement, ces parties amont sont des sites qui se dépriment progressivement par départ physico-chimique de matière : d'une part, soutirage hypodermique sélectif (« lavage ») des particules fines des altérites kaoliniques traversées par la



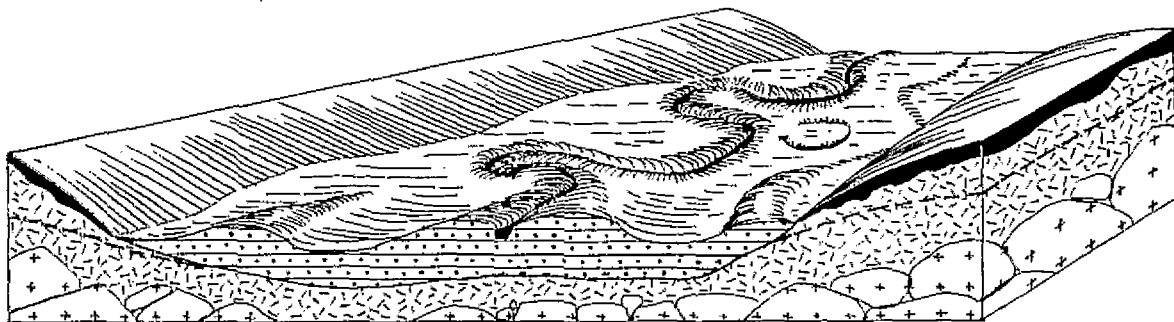
Premier tronçon : tête de bas-fond en spatule ; absence de cours d'eau.



Deuxième tronçon : vallon concave à horizontal ; début d'entaille.



Troisième tronçon : vallon à fond plat, à flancs concaves ; petit cours d'eau, net, encaissé.



Large plaine alluviale ; dynamique fluviale active.

- | | |
|---|---|
| Socle granito-gneissique. | Sols des interfluvés. |
| Manteau d'altération | Colluvio-alluvions argileuses homogènes. |
| Sols gris hydromorphes sableux lavés. | Alluvions épaisses hétérogènes. |
| Sols gris hydromorphes argilo-sableux colmatés. | Niveau le plus haut de la nappe phréatique. |
| | Flux latéraux de la nappe phréatique. |

Figure 1 : Vallées tropicales : différenciation morphopédologique schématique d'amont en aval.

tranche supérieure très mobile de la nappe phréatique convergeant préférentiellement à ces endroits ; d'autre part, transit lent vers l'aval par « fluage » de cette tranche d'altérite en cours de lavage, sous l'action déstabilisatrice et mobilisatrice de la même nappe phréatique circulante.

Le tronçon 2 : parties amont

Toujours en situation amont par rapport à l'ensemble du réseau, ce tronçon est marqué par une atténuation de sa concavité transversale ; le profil transversal devient horizontal au centre, les flancs restant nettement concaves. Une discrète entaille, due à la concentration des écoulements, commence à apparaître. Les sols deviennent argilo-sableux et peuvent acquérir, si le régime hydrique est suffisamment contrasté, des caractères vertiques. Il ne s'agit toujours pas d'alluvions, mais, comme précédemment, de la même nappe de fluage, issue de la mobilisation d'une tranche d'altérite noyée par la nappe phréatique. Ce matériau, anciennement lavé selon les processus précédents, a subi un colmatage de sa porosité par piégeage des particules colloïdales argileuses issues des tronçons situés à l'extrême amont et sur les flancs, actuellement en cours de lavage et fluage. Le couple « lavage - colmatage » est donc en relation spatio-temporelle dialectique. Dans ce deuxième tronçon, la nappe phréatique continue d'affleurer et de s'écouler sur les bordures concaves, contribuant à inonder le centre de la gouttière, où, par contre, cette même nappe générale reste plus ou moins en charge sous le matériau argilo-sableux colmaté. Dans l'axe même du bas-fond, on a alors deux nappes d'eau libre saturante : une nappe profonde logée dans l'arène granito-gneissique et une nappe d'inondation, séparées par un matériau plus ou moins imperméable. Ce niveau colmaté est net en région sèche, peu marqué en région humide. Sa formation est liée également à la pente longitudinale des vallées. Plus cette pente est élevée, moins le colmatage est accentué.

Le tronçon 3 : parties aval

Le bas-fond s'élargit, son profil transversal devient nettement horizontal : on y voit un cours d'eau bien marqué, encaissé de 1 à 2 m, bordé parfois par de discrètes levées alluviales. Cette fois, on trouve un véritable remblai alluvial de texture argilo-limoneuse assez homogène, recouvrant une semelle sablo-gravillonnaire, le tout reposant sur l'altérite granito-gneissique en place ou peu remaniée (fluage antérieur), souvent colmatée, parfois vertique ; le degré de colmatage de ce matériau sous-alluvial, plus ou moins marqué suivant l'environnement morphoclimatique et lithologique ambiant, aura une incidence importante sur le régime hydrologique du bas-fond (mise en charge de la nappe d'arène), donc sur la riziculture. Les alluvions des bas-fonds sont des dépôts de décantation sous strate graminéenne ; celle-ci permet l'étalement d'une nappe d'eau peu turbulente issue du débordement du cours d'eau enrichi des écoulements provenant des ruissellements et de l'affleurement des nappes phréa-

tiques. En bordure du « flat » alluvial, la vallée peut encore présenter des franges concaves, où le sondage des bas de versants se poursuit comme en amont, caractérisées donc par des sols lavés sableux, correspondant aux affleurements des nappes phréatiques situés sous les interfluvés.

En plus de cette nappe phréatique générale contenue dans les altérites qui moulent le modelé et convergeant vers la vallée pour circuler dans le matériau « sous-alluvial », existe donc en général une nappe perchée logée dans le remblai alluvial lui-même. Sa fluctuation (alimentation ou rabattement) est liée aux écoulements dans le cours d'eau qui traverse la vallée. Par rapport aux tronçons amont, ici le régime hydrologique se complique donc, en raison de l'origine diversifiée des apports (pluie directe, ruissellement, crue, nappe générale, nappe perchée) et de leurs décalages spatio-temporels. En pleine saison des pluies, ces eaux finissent par se confondre, saturant les matériaux et inondant la vallée.

Cependant, les parts respectives de ces diverses composantes du régime hydrologique sont étroitement liées à la répartition des matériaux et des sols aussi bien dans la vallée que sur les interfluvés.

Le passage à la vallée alluviale « turbulente »

Ce passage se fait progressivement, après un certain nombre de confluences de bas-fonds, quand le bassin devient assez vaste, quand les écoulements des cours d'eau acquièrent une « compétence » suffisante pour engendrer une dynamique hydrologique et sédimentologique : tri de matériaux en sables, limons et argiles alternés, changements de lits, construction de levées, formation de cuvettes, etc. Ces plaines alluviales se prêtent à une mise en valeur rizicole bien différente de celle des bas-fonds. Contrairement à ce qui se passe dans ces derniers, l'adaptation de la riziculture au régime hydrologique naturel est impossible sans gros et coûteux aménagements hydro-agricoles. Ces types de milieu appartiennent au domaine de la riziculture irriguée et n'entrent donc pas dans le cadre de notre inventaire.

Différenciation des familles de bas-fonds

Le modèle synthétique et idéal qui vient d'être décrit constitue un axe structural de référence à partir duquel, en fonction des modalités et des associations des composantes de base (modelés, matériaux, régimes des eaux...), vont se différencier les principales familles de bas-fonds africains (figure 2).

Le « cachet » de chaque famille est le fait d'interactions et rétroactions spécifiques entre ces diverses composantes du milieu, de leur importance relative mutuelle, de la façon dont elles sont disposées et modulées en dimension, qualité, intensité ou chronicité. Ainsi, par exemple,

l'apparition d'un remblai alluvial à partir de la tête du réseau est un caractère variable suivant la famille considérée mais essentiel à identifier pour la riziculture, car les sols y sont plus intéressants qu'ailleurs ; il en est de même pour l'extension spatiale des flancs concaves sableux généralement très prisés pour la riziculture « de nappe » sans aménagement ; cette frange peut être insignifiante dans tel type de bas-fond ou au contraire prendre une grande importance ailleurs. Autre critère discriminant : l'importance du niveau argilo-sableux colmaté sous le remblai alluvial. On pourra, suivant son type d'association avec les flancs sableux (largeurs, dénivellations et pentes de ceux-ci) considérer ce caractère comme bénéfique ou contraignant et l'utiliser en conséquence.

Mais la nature des interfluves fournira également des indications très importantes quant au régime hydrologique : l'épaisseur des altérites, la nature des sols qui les coiffent, les dénivellations entre sommets et bas-fonds, la couverture végétale, la forme des versants sont des caractéristiques déterminantes de ce point de vue. Nous verrons des associations spécifiques entre matériaux et régime des eaux sur l'interfluve, d'une part, et dans le bas-fond voisin qui lui est génétiquement lié, d'autre part. Ainsi, la largeur de la frange latérale concave sableuse est conditionnée, d'une part de façon positive par la perméabilité des sols de l'interfluve (corrélation avec les sols rouges très filtrants) qui détermine l'alimentation abondante des nappes phréatiques, nécessaire à une restitution échelonnée dans le temps, en bas de versants, d'autre part, de façon négative, par l'intensité de l'induration ferrugineuse des plinthites des versants, qui s'oppose au lavage, au fluage et à la « suffosion » latérale des bas de versants, donc à l'élargissement des « sols gris ». À ces facteurs déterminants s'ajoute la vitesse de drainage des nappes phréatiques, liée à la dénivellation et à la position du paysage considéré par rapport au niveau de base général.

Les bas-fonds du premier type : régions soudano-sahéliennes et équivalentes

Environnements et caractéristiques

Ce sont les bas-fonds des régions soudano-sahéliennes ou équivalentes, à pluviométries comprises entre 800 et 1 100 mm. Ils drainent des paysages à dénivellations et à pentes faibles (inférieures à 3 %), modelés en glacis ou dômes surbaissés (qualifiés souvent de « bas glacis » ou de « surface fonctionnelle » en Afrique occidentale francophone) ; ces derniers sont dominés de loin en loin par des reliefs résiduels rocheux ou des buttes armées d'indurations ferrugineuses reliques du « haut » ou du « moyen » glacis. La végétation naturelle est une savane arbustive peu couvrante à *Combretum* ou *Acacia*. Ce

modelé à très larges ondulations est façonné sur des altérations, épaisses de plusieurs mètres, qui sont le plus souvent des héritages de climats plus humides et qui ont subi des troncatures postérieures, pendant des périodes sèches et agressives du quaternaire. Suivant leur degré de troncature, les sols actuels qui coiffent ces altérations sont soit des argiles ferrugino-kaoliniques (plinthites) — que celles-ci soient indurées ou gravillonaires (carapaces, cuirasses, gravillons ferrugineux) ou bien meubles (sols ferrugineux tropicaux) —, soit des argiles montmorillonitiques (vertisols, planosols...), soit encore des arènes peu évoluées. Ils sont en général caractérisés par une compaction, un colmatage, ou une discontinuité à faible profondeur et sont donc peu filtrants. Une fois au sol, les eaux de pluie ont tendance à s'écouler latéralement, en ruissellements et en écoulements hypodermiques. Les eaux ont ainsi une action de lavage et de lixiviation latérale, avec création fréquente d'une discontinuité. Dans ces conditions de milieu, les nappes phréatiques d'altérites sont peu alimentées, elles sont discontinues et temporaires.

Les bas-fonds (figure 2) sont peu encaissés, à pentes longitudinales faibles ; ils commencent par des vallons déprimés à terminaisons amont élargies en spatule, à sols sableux lavés ou argilo-sableux colmatés, sans entaille linéaire, à affleurements saisonniers de la nappe phréatique. En aval, on passe très vite à des bas-fonds plus larges (plus de 200 m) dont le profil transversal est horizontal, remblayés par des colluvio-alluvions de un à quelques mètres d'épaisseur entaillées sur 1 à 3 m par un petit cours d'eau coulant par intermittence. Les dépôts sont le plus souvent argileux (sablo-gravillonaires à la base), fortement structurés ; ils reposent sur une argile sableuse colmatée plus ou moins montmorillonitique (suivant la nature lithologique du substratum), formée dans l'altérite en place ou peu remaniée.

Le régime hydrologique des inondations est caractérisé par une faible influence des nappes phréatiques, et par un régime assez brutal des écoulements. Les nappes phréatiques n'affleurent en pleine saison des pluies que dans les parties amont des bas-fonds (sols gris). Plus en aval, les écoulements, une fois que les sols des interfluves sont rapidement saturés, sont très irréguliers et liés, avec un faible décalage, au régime pluviométrique instable. Les arrivées d'eau peuvent être brutales (« chasse d'eau ») ; la nappe d'inondation a une épaisseur très variable mais inférieure à 1 m en général ; elle peut disparaître au-delà de quelques jours d'arrêt des pluies. Dans l'axe du bas-fond, se différencient en général deux nappes d'eau libre saturante : une nappe « d'arène » sous le remblai alluvial, maintenue plus ou moins en charge par l'argile colmatée sous-alluviale, et une nappe « perchée » (ou nappe d'alluvions) logée dans le remblai argileux alluvial et ses graviers de base. Cette dernière nappe est alimentée par les débordements du lit et les écoulements qui convergent de tous les côtés vers la gouttière. Après la fin des pluies, ces nappes se maintiennent quelques mois, puis tarissent progressivement (bien après les nappes d'altérites des interfluves), par écoulement longitudinal, drainage par le

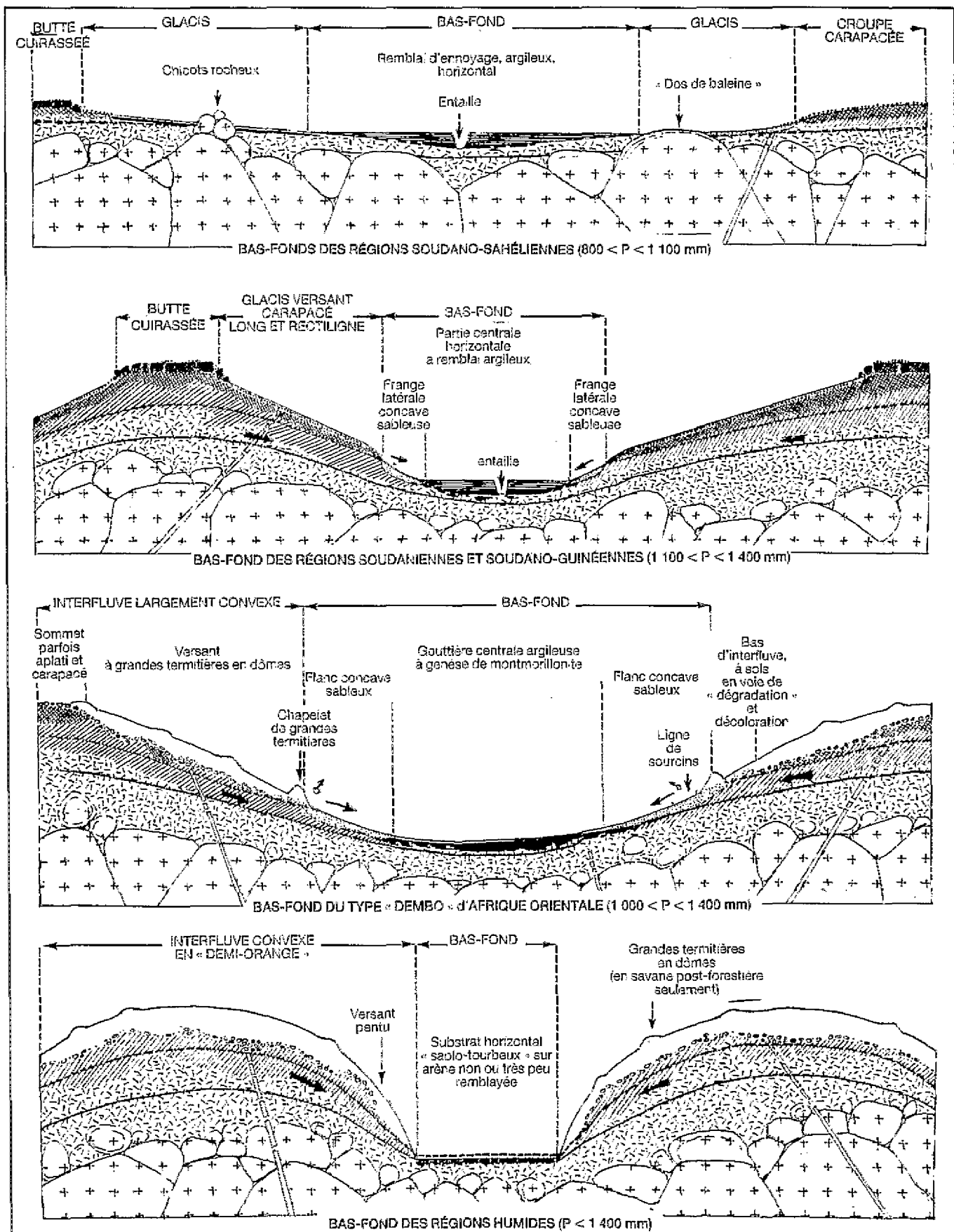



















Figure 2 : Les quatre types fondamentaux de bas-fonds africains sur les surfaces d'aplanissement granito-gneissiques.

LÉGENDE INTERPRÉTATIVE

Nb. par souci de clarté, les épaisseurs relatives des divers matériaux, les dimensions des modelés, les pentes et les dénivellations, n'ont pas été respectées.

-  Socle granito-gneissique diaclasé, à filons de quartz, non altéré.
-  Arène argilo-sablo-micacée (roche pourrie), principal réservoir aquifère, généralement imbibée en permanence par la nappe phréatique.
-  Argile tachetée ferrugino-kaolinique (plinthite), à canalicules sub-horizontaux. Zone de fluctuation et de circulation latérale de la nappe phréatique.
-  Carapace ferrugineuse (plinthite indurée), ancienne zone de fluctuation de la nappe phréatique, actuellement rabattue et n'affectant plus ce matériau.
-  Cuirasse ferrugineuse (alvéolaire en profondeur, pisolithique ou conglomératique en surface) armant les buttes témoins de surfaces anciennes.
-  Nappe de gravats (« stone line ») à débris quartzeux et/ou ferrugineux, ondulée ou festonnée, mais globalement parallèle à la surface topographique.
-  Matériau de recouvrement de la « stone line », argilo-limono-sableux, colore (rouge, ocre ou jaune), d'épaisseur variable (jusqu'à 4 m). Horizon B des sols ferrallitiques, probablement remanié biologiquement (remontées par les termites).
-  Matériau sableux (souvent à sables grossiers) hydromorphe grisâtre, résultant de la dégradation, du lavage et de la décoloration de la plinthis par l'action des fluctuations et circulations latérales de la nappe phréatique.
-  Matériau sablo-gravillonnaire (sols ferrugineux tropicaux appauvris, gravillonnaires) résultant de la dégradation physico-chimique de la carapace ferrugineuse sous-jacente par les ruissellements hypodermiques, les actions des racines et des termites.
-  Matériau « planique » limono-sableux de 20 à 40 cm d'épaisseur, lavé et blanchi par dégradation de l'argile montmorillonitique sous-jacente développée sur arène sablo-micacée en place (roche pourrie). Présence d'une discontinuité texturale brutale (planosol).
-  Argile montmorillonitique de teinte grise à olive formée au sein de l'arène sablo-micacée (roche pourrie). Niveau imperméable qui maintient fréquemment en charge la nappe phréatique sous le bas-fond.
-  Remblaiement colluvio-alluvial brun à grisâtre, tacheté, à dominance argileuse kaolinique.
-  Niveau tourbeux, semi-tourbeux ou à hydromor, constamment engorgé.
-  Nappe phréatique d'altérite à son niveau le plus bas (étiage).
-  Nappe phréatique d'altérite à son niveau le plus haut.
-  Mouvements latéraux de la nappe phréatique en saison des pluies.
-  Écoulements superficiels et hypodermiques de la nappe en saison des pluies.

lit du cours d'eau, ou évaporation après remontée capillaire. La nappe d'inféro-flux peut se maintenir en saison sèche.

Conséquences pour la riziculture

Ces types de milieu, à pluviométrie annuelle inférieure à 1 100 mm, à sols peu perméables ou à faible capacité de rétention en eau utile (à pertes latérales d'eau importantes) interdisent, en général, la riziculture pluviale stricte. Il est donc particulièrement indiqué de s'intéresser aux bas-fonds.

Ceux-ci fonctionnent davantage comme de larges gouttières d'ennoyages et d'écoulements en lames sporadiques relativement brutales qui suivent de près les averses violentes que comme des lieux paisibles de maintien à faible profondeur ou de suintement et d'égouttage régulier des nappes phréatiques. Dans ces types de milieu, les ruissellements et écoulements hypodermiques sont importants, aux dépens des infiltrations profondes, sources d'alimentation des nappes phréatiques. Il ne faut donc pas trop compter sur une nappe phréatique pérenne et continue sous les versants pour amortir les déficits pluviométriques. Il convient alors de gérer au mieux les écoulements de surface : couper leur violence néfaste en les étalant et en les régularisant, améliorer la capacité d'absorption des sols pour favoriser l'infiltration donc le remplissage du réservoir sol et l'alimentation de la nappe phréatique perchée logée dans le remblai alluvial. L'objectif est, sinon de maintenir une nappe d'inondation permanente et de hauteur constante, du moins la constitution de réserves hydriques suffisantes pour faire face, à tout moment, à un arrêt des pluies de 10 à 15 jours, événement fréquent en Afrique soudano-sahélienne et qui peut être catastrophique s'il survient à l'époque critique de la floraison-épiaison du riz.

La riziculture de bas-fond dans les régions sèches demande, peut-être plus qu'ailleurs, des variétés plastiques, aptes à résister aux variations brutales du régime d'alimentation hydrique. Généralement semé en « pluvial strict », après les travaux d'affinage du sol (auparavant labouré, de préférence en fin de cycle précédent) qui suivent les premières pluies, il devra passer une première phase critique totalement dépendante des pluies, donc demandant une excellente résistance à la sécheresse ; mais en même temps, il doit rapidement acquérir une vigueur suffisante et couvrir le sol pour résister à l'asphyxie et aux balayages violents dus à la concentration dans les bas-fonds des premières pluies d'orage, période pendant laquelle la végétation graminéenne des bassins versants est sèche ou brûlée, donc non couvrante.

Cette première épreuve passée (la période critique étant juin-juillet en général), la saison des pluies s'installe et la végétation se développe : le régime hydrique est alors relativement stabilisé jusque vers fin juillet ; pendant cette période, l'infiltration, favorisée sur les versants par la prolifération graminéenne, est importante et rem-

plit le manteau d'altération. Le riz nécessite alors des désherbages sérieux. À partir de fin juillet, deux mois après le début des pluies, les sols sont saturés ; les petites vallées sont donc abondamment alimentées par les écoulements superficiels et hypodermiques, les nappes phréatiques affleurent dans les têtes de bas-fonds sableuses, les cours d'eau peuvent acquérir leur débit maximum et déborder. Le riz est généralement inondé par une lame d'eau d'épaisseur fluctuante (mais qui ne dépasse pas 1 m), étroitement corrélée au régime des averses, qui règle à bref délai le régime des écoulements. En effet, les nappes phréatiques, qui jouent bien leur rôle d'agent amortisseur en région plus humide, interviennent peu ici du fait des faibles dénivellations dans le paysage, de la faible réserve des altérites et d'un colmatage quasi généralisé du matériau sous-alluvial, qui maintient la nappe en charge.

C'est en août que le riz risque de subir les stress extrêmes :

- soit par submersion par des crues, d'autant plus néfastes qu'elles sont brutales, épaisses et prolongées ;
- soit par des « à sec », dus à des « trous » pluviométriques de plus d'une semaine, fréquents en pleine saison des pluies.

Le système racinaire, qui s'est adaptée plus ou moins à un régime d'inondation, est généralement peu profond et peu développé ; un assèchement du sol dans les 25 cm supérieurs est alors très préjudiciable.

Le riz devra donc être sélectionné à la fois pour résister à la sécheresse, à l'inondation fluctuante, à la submersion peu prolongée, à la verse (un bon compromis pourrait être une taille de 120 cm). Il devra, en plus, avoir un tallage élevé et être résistant à la pyriculariose. Cette variété idéale n'est pas encore trouvée. Quelques variétés traditionnelles africaines à rendements moyens à faibles (1 à 2 t/ha) réunissent une partie seulement de ces conditions (Gambiaka). De gros progrès sont à réaliser.

Afin d'améliorer et de mieux maîtriser ces conditions naturelles, la mise en valeur rationnelle nécessite de petits aménagements, correctement adaptés au tronçon envisagé et à son bassin versant. Il semble que l'on puisse distinguer les tronçons amont des tronçons aval.

Les tronçons amont

Concaves, peu déprimés, larges de moins de 200 m, sans entailles ni dépôts alluviaux, à sols sableux et sans écoulements brutaux, ils drainent en général des bassins versants de moins de 5 km². Les paysans affectionnent ces sols « gris » sableux pour leurs cultures vivrières (autres que le riz), car ils se travaillent aisément. Généralement, ils façonnent de grandes buttes (50 à 80 cm), afin de s'affranchir de l'engorgement par la nappe phréatique. Celle-ci ne commence à s'écouler librement en surface que un à deux mois après le début des pluies. Un semis de riz en conditions pluviales « strictes » est donc particulièrement dangereux sur ces sols à faible réserve en eau.

Même en pleine saison des pluies, la nappe subit des éclipses et fluctue très rapidement. Les sols gris des zones sèches sont donc beaucoup moins aptes à la riziculture sur nappe que les sols gris des zones à plus de 1 100 m de pluviométrie (voir plus loin) et qui leur sont pourtant génétiquement comparables. Quant aux ruissellements et à leurs possibilités de piégeage par un système de diguettes, ils sont limités, à cause de l'étendue réduite du bassin, de la faible capacité de rétention en eau des sols gris, et de la faible tenue des diguettes utilisant ce matériau sableux.

Donc, en règle générale, ces têtes de bas-fonds ne sont pas susceptibles d'une amélioration substantielle de leur régime hydrique et ne se prêtent pas sans risques à une mise en valeur par la riziculture.

Les tronçons aval

En continuité aval avec les précédents, ces tronçons sont plats, larges de plus de 200 m, à remblai colluvio-alluvial entaillé par un cours d'eau sinueux, à sols argileux relativement fertiles, et à inondations circulantes fréquentes. Ils drainent des bassins versants de 5 à 50 km². Au-delà de 50 km², on débouche dans les grandes vallées alluviales dont la mise en valeur rizicole demande des aménagements plus lourds et qui sortent donc du cadre de notre étude. Par rapport aux sols d'interfluvés, ils ont donc une plus-value agricole potentielle bien meilleure que celle des sols gris des têtes des bas-fonds. L'atténuation des régimes hydrologiques extrêmes (passage de trop d'eau instantanée ou sécheresse du système racinaire s'il ne pleut pas assez) peut s'envisager en coupant la force des écoulements, en favorisant leur infiltration, et même en les retenant provisoirement pour les relâcher en période sèche.

Les deux types d'aménagement extrêmes (par leur ampleur et leur coût) envisageables sont les diguettes et les retenues intégrales.

Les systèmes de diguettes

Les diguettes, de 30 à 50 cm de haut, munies de petits déversoirs en aval, sont disposées en courbes de niveaux, formant un système ouvert. Elles sont généralement combinées de façon à capter le maximum de ruissellements peu violents, tout en laissant passer les écoulements plus brutaux. L'avantage de ces systèmes est leur simplicité et leur faible coût (moins de 450 \$ à l'hectare). Cependant, l'expérience montre qu'employées seules, les diguettes ont une utilité limitée : elles se révèlent insuffisantes pour faire face à plus de quelques jours d'arrêt des pluies ; d'autre part, elles nécessitent des entretiens constants, car elles se rompent lors des écoulements violents quand le bassin dépasse 10 km². Enfin, le drainage opéré par le cours d'eau central s'oppose au bénéfice escompté, qui est le stockage de l'eau ainsi infiltrée dans le remblai alluvial. On a fréquemment constaté en Afrique qu'une rectification et un recreusement artificiel du lit, dans un but de protection contre les débordements, accentuait, en période sèche, le drainage néfaste. Un système de di-

guettes devrait donc s'accompagner, pour être efficace, d'une série de vannes à batardeaux en travers du cours d'eau, que l'on pourrait fermer dès que le niveau de l'eau dans le lit baisse. Cela demande donc des ouvrages supplémentaires à entretenir. En réalité, si elles doivent être utilisées seules, nous ne recommandons les diguettes que sur les bas-fonds sans entaille centrale marquée, sur sols argileux et quand la taille du bassin est inférieure à 10 km².

Les retenues intégrales

Ces retenues de plus de 3 m de haut, en gabions ou en blocs de latérites, munies de déversoirs, sont prévues pour stocker le maximum d'eau d'écoulement et la redistribuer en aval avec une maîtrise parfaite. Ces ouvrages demandent un aménagement hydro-agricole intégré dont la rentabilité nécessite une agriculture irriguée en saison sèche. En Afrique, les paysans ne peuvent construire, entretenir et gérer eux-mêmes ces ouvrages. Le coût dépasse fréquemment 2 250 \$ à l'hectare. Autre inconvénient : du fait du faible encaissement des bas-fonds, les retenues ennoient et condamnent de vastes superficies en amont, de part et d'autre des bas-fonds eux-mêmes, où sont souvent situées les meilleures terres. L'expérience a montré que ces grosses retenues ne remplissent plus leur rôle quelques années seulement après leur construction, à cause de l'absence de motivation et d'entretien de la part du paysannat. L'eau stockée n'est pas valorisée comme elle le devrait ; elle s'évapore en partie et se rétrécit en saison sèche ; elle attire les troupeaux qui dégradent les sols sur une vaste auréole environnante.

En définitive, en l'absence de politique globale de gestion du terroir à l'échelon du bassin versant, et en l'absence de technicité des paysans, les retenues importantes sur les bas-fonds apportent plus d'inconvénients que d'avantages en région soudano-sahélienne. Dans le cadre de l'amélioration de la riziculture de bas-fond seule, à plus court terme, il faut envisager des aménagements beaucoup plus modestes.

La solution optimale

Il semble finalement que le système le mieux adapté qui, à la fois, amortisse bien les crues, limite la détérioration des ouvrages, condamne le minimum de bonnes terres, stocke la quantité d'eau juste nécessaire pour irriguer pendant deux semaines, et enfin assure une bonne répartition des écoulements en régularisant au mieux le régime d'inondation soit un système mixte combinant réseau de diguettes et petites retenues échelonnées le long des bas-fonds. Les retenues doivent avoir une taille modeste, environ 2 m de haut ; elles sont munies d'un déversoir central bétonné, au niveau du talweg, et de déversoirs latéraux pour les fortes crues. Des ouvrages de vidange sont prévus pour restituer l'eau aux casiers aval quand cela est nécessaire. Entre les digues, le bas-fond est aménagé en casiers planés, délimités par des diguettes, et ouverts sur les versants voisins pour en capter le ruissellement. Les casiers en amont de la retenue peuvent être inondés par la montée du plan d'eau ; les casiers aval sont

irrigables à partir de la retenue : les diguettes sont munies de buses permettant la circulation de l'eau d'un casier à l'autre. Le coût de tels aménagements serait de l'ordre de 200 000 à 500 000 F CFA à l'hectare, soit 450 à 1 200 \$. Ils nécessitent un savoir-faire et un entretien tout à fait à la portée du paysan.

Les bas-fonds du deuxième type : régions soudano-guinéennes

Environnements et caractéristiques

Ce type de bas-fond est spécifique des régions soudano-guinéennes d'Afrique occidentale, à pluviométrie moyenne annuelle comprise entre 1 100 et 1 500 mm. Le paysage classique, sur socle granito-gneissique, est celui d'ondulations monotones composées de longs glacis-versants rectilignes à pentes de 3 à 8 %, coiffés souvent de chapeaux démantelés de cuirasse ou carapace ferrugineuse (reliques qualifiées souvent de « haut-glacis », et considérées comme datant du quaternaire ancien). Les versants eux-mêmes sont façonnés dans des plinthes (argiles kaoliniques tachetées) plus ou moins indurées, et présentent donc une carapace ou des graviers ferrugineux sub-superficiels. Sous ces plinthes, l'altération se poursuit sur 10 à 20 m d'épaisseur, avant d'atteindre le socle cristallin sain. Elle sert d'aquifère à une nappe phréatique permanente qui fluctue saisonnièrement, sur une tranche épaisse (5 à 10 m sous le sommet d'interfluve). Le manteau d'altération a commencé à se former à l'ère tertiaire, puis a subi au quaternaire de nombreuses troncatures par aplanissements et façonnements de versants, ainsi que des indurations ferrugineuses. Ces dernières ont été induites par les fluctuations et rabattements des nappes phréatiques. Ces divers remaniements d'altérites, d'ordre mécanique, physico-chimique et biologique (termites) sont liés aux variations climatiques (corrélées aux glaciations européennes) et aux baisses normales des niveaux de base.

La végétation naturelle est une forêt sèche ou une savane arborée. Les sols sont de classiques ferrugineux tropicaux (appauvris, gravillonnaires ou carapacés). En général, ils sont caractérisés par une texture sableuse ou sablo-gravillonnaire dans les 10 à 100 cm supérieurs, et par une plinthe, souvent carapacée, en dessous. Dans ce type de milieu, les eaux pluviales s'infiltrant en grande partie (ruissellement inférieur à 1 % sous végétation naturelle) jusqu'à ce que la capacité d'absorption du manteau d'altération soit dépassée (remontée des nappes) : à partir de ce moment — environ trois mois après le début de la saison des pluies —, apparaissent des écoulements hypodermiques provoquant le lessivage latéral des sols (qui s'enrichissent donc en sable), puis des ruissellements. Sur un versant donné, à substratum lithologique homogène, les parts respectives du ruissellement, de

l'écoulement hypodermique et de l'infiltration profonde dépendent donc de la période considérée dans la saison des pluies, de la position sur le versant (la nappe remonte plus précocement en bas de versant qu'en sommet d'interfluve) et, naturellement, de l'occupation du sol.

Les bas-fonds (figure 2) sont en règle générale moins larges (moins de 200 m), et forment un réseau plus dense que dans les régions soudano-sahéliennes. Ils sont également plus encaissés : 20 à 40 m de dénivellation par rapport aux interfluvies. En vue aérienne, leur réseau présente un tracé segmenté caractéristique, formé de tronçons rectilignes de largeur constante, faisant entre eux des angles très marqués. Cette disposition est en relation étroite avec la rigidité des versants, conséquence de leur carapacement ferrugineux. En effet, le drainage, le rabattement et les circulations latérales des nappes phréatiques consécutives à l'enfoncement des bas-fonds induisent deux ensembles de processus contradictoires : d'une part, induration ferrugineuse des plinthes sur les versants, d'autre part, suffosion régressive (lavage, soutirage, fluage) de ces plinthes en bordure de la gouttière, contribuant à son élargissement latéral. Ces deux ensembles de processus, l'un s'intensifiant vers l'aval, l'autre progressant vers l'amont, sont d'abord concomitants et s'entretiennent (« feed back » positifs), puis s'opposent et se neutralisent mutuellement (« feed back » négatifs) en un équilibre au-delà duquel les bas-fonds ne peuvent plus s'élargir, ce qui explique la régularité assez remarquable de leur section et leur linéarité segmentée exploitant les diaclases des roches et des épaisses altérites, rigidifiées à leur sommet. Dans ces bas-fonds du deuxième type, les franges concaves sableuses, à sols gris, seront donc très discrètes. Nous verrons que dans le troisième type (« dembo »), ces flancs sableux se déploient sans contrainte, de façon remarquable : c'est même leur particularité essentielle.

Les têtes (élargies en spatules) et extrêmes amont des bas-fonds présentent des profils concaves, une pente longitudinale sensible, des sols sableux non alluviaux (plinthe lavée). Puis on passe en aval, en même temps que la pente en long faiblit, d'abord à des gouttières à sol argilo-sableux colmaté (toujours sans cours d'eau), puis aux bas-fonds colluvio-alluviaux proprement dits, qui forment en fait la majeure partie du réseau. Plats, à sols hydromorphes non organiques, argileux, bien structurés et filtrants, ils sont entaillés par un lit de cours d'eau intermittent, de 1 à 3 m de profondeur. En bordure, une frange concave sableuse (suffosion latérale) peut encore être présente, mais elle est toujours étroite. Sous le remblai alluvial, se trouve un niveau argilo-vertique colmaté, développé dans l'altération en place, qui maintient la nappe phréatique en charge. Le régime hydrologique d'inondation résulte de l'imbrication spatio-temporelle des apports suivants : pluie directe, arrivées latérales des écoulements hypodermiques et ruissellements en provenance des versants dominants, suintements frangeants dus aux affleurements de la nappe phréatique, débordements du cours d'eau. L'inondation de la vallée com-

mence assez tardivement après le début de l'hivernage ; elle est conditionnée par le remplissage préalable de tous les réservoirs.

La nappe phréatique « sous-alluviale », liée à la nappe phréatique située sous les interfluvies, est en général permanente. Par contre, la « nappe d'alluvions » logée dans le remblai alluvial, séparée de la précédente par le niveau imperméable profond, s'épuise en saison sèche car elle est drainée par le cours d'eau qui lui-même s'assèche.

Conséquences pour la riziculture

Ces types de bas-fonds présentent des caractéristiques intermédiaires entre celles du type 1 d'une part, et celles des types 3 et 4 d'autre part. Leurs régimes hydriques et hydrologiques sont plus intéressants que ceux des bas-fonds des régions plus sèches (type 1) : la pluviométrie plus importante, l'encaissement plus net des vallées, l'épaisseur et la perméabilité supérieures des altérations des interfluvies permettent l'existence d'une nappe phréatique permanente, assurant un meilleur volant hydrologique qui concourt à mieux amortir les écoulements violents dans les vallées et les périodes de sécheresse pendant la saison des pluies.

Comparés aux bas-fonds du type 4 (des régions humides), ils sont cependant moins affectés par la nappe phréatique ; celle-ci affleure moins longtemps, sa remontée est gênée par l'existence d'un colmatage sous-alluvial. Les sols ne sont jamais tourbeux. Par rapport au type 3 (« dembos »), ces bas-fonds sont moins larges ; la bande latérale sableuse à sols gris y est beaucoup plus réduite ; d'autre part, un remblai alluvial argileux recouvrant le niveau vertique ou colmaté y est tout à fait généralisé.

Ces bas-fonds ne permettent généralement pas la riziculture irriguée à parfait contrôle de l'eau ; comme les bas-fonds de type 1, ils sont aptes à une riziculture qui n'appartient à aucun genre bien défini du point de vue de l'alimentation hydrique. Le riz doit débiter son cycle en conditions pluviales strictes pendant quatre à six semaines, avec les risques irréductibles que cela comporte relativement aux aléas pluviométriques imprévisibles, auxquels le riz est plus sensible que les autres cultures vivrières traditionnelles. Ensuite, les nappes phréatiques et les écoulements de surface d'origines diverses viennent se surimposer à ce régime pluvial de façon bénéfique ou excessive, mais la plupart du temps de façon très saccadée.

Comme pour les autres types de bas-fonds, les conditions de culture sont différentes selon que l'on considère les têtes à sols gris sableux, les parties amont du réseau à sol gris argilo-sableux non alluviaux ou les parties situées plus en aval, à sols argileux alluviaux.

Les têtes et les franges latérales

Ces têtes d'extrême amont, de moins d'un kilomètre de long, sont dominées par des bassins de moins de 2 km².

Elles présentent un profil concave assez large, non entaillé et des pentes sensibles. Les sols lavés sont sableux, non alluviaux ; ils ne sont pas le lieu d'écoulements violents ; la nappe phréatique y suinte régulièrement, avec un décalage de un à deux mois par rapport à la saison des pluies. Ces sols gris coexistent, avec une ampleur variable mais selon des genèses comparables, dans les bas-fonds des types 1, 2 et 3. Cependant, leur régime phréatique est plus ou moins régulier et favorable. On peut dire qu'ils sont d'autant plus intéressants qu'ils sont en position déprimée par rapport aux interfluvies environnants et que ceux-ci absorbent mieux l'eau de pluie. Ici, les conditions sont donc plus intéressantes que pour les bas-fonds des régions plus sèches et un peu moins favorables que dans le cas des « dembos » d'Afrique orientale.

Les sols, riches en sables, sont très appauvris et très peu productifs en pluvial strict, mais pour le riz leur fertilité est « réévaluée » lorsqu'ils sont traversés par des flux latéraux, renouvelés et aérés, dus au gonflement de la nappe phréatique d'altérite. Cet aspect a été constaté au Sénégal, sur des sols qui semblent génétiquement très comparables, par BERTRAND (1973), BERTRAND *et al.* (1978), GANRY (1974), SJIBAND (1976). Ces sols, tant qu'ils restent exclusivement sableux (sables blancs proprement dits) sans montrer de niveau argilo-sableux colmaté sous-jacent, c'est-à-dire avec libres mouvements verticaux et hypodermiques des eaux, ne nécessitent pas la réalisation de diguettes de rétention. Ils ne s'y prêtent d'ailleurs pas (infiltration trop rapide et manque de tenue des diguettes). Ces zones sont rizicultivables sans création de rizières. Quand l'enracinement du riz est installé, la nappe, pour que sa capillarité puisse compenser les « trous » de la saison des pluies, doit rester à moins de 1 m de la surface. C'est le cas dans les sols gris des régions soudano-guinéennes à plus de 1 100 mm de pluviométrie. Le problème, sur ces sites, est donc de trouver la date de semis la plus adaptée à chaque situation. Si l'on veut s'affranchir de la mauvaise distribution de début d'hivernage, une technique serait d'observer la montée du niveau statique de la nappe et de semer en conséquence. Un semis tardif a cependant pour inconvénient d'obliger à laisser longtemps le sol mal couvert exposé à l'érosion : celle-ci est particulièrement à craindre sur ces sols sableux peu structurés ; une autre contrainte de ces sols lorsqu'ils sont gorgés d'eau avant que le riz ne les couvre parfaitement est qu'ils se prêtent particulièrement à la prolifération des mauvaises herbes (*Cyperus*, *Imperata*). Dans des conditions favorables, les sites à sols gris sont aptes à deux cultures par an, deux cycles de riz si les températures le permettent, ce qui est souvent le cas dans le domaine soudano-guinéen à moins de 500 m d'altitude.

Les tronçons amont

Cette partie est comprise entre les têtes sableuses (sols gris ou sables blancs) élargies en spatules et les tronçons aval à remblai argileux entaillé d'un cours d'eau. Ils sont larges de moins de 100 m, leur profil transversal est

encore assez concave (en « berceau »), sans cours d'eau net. Les sols y sont très sableux en bordure, mais argilo-sableux et colmatés au centre. Ceux-ci gênent la remontée de la nappe ainsi que l'infiltration des eaux et permettent donc la formation en saison des pluies d'une nappe perchée d'inondation alimentée par les arrivées latérales.

Ces tronçons ont moins de 1 km de long en général et des bassins versants de 2 à 10 km² de superficie. Les franges latérales sableuses sont utilisables comme indiqué précédemment. Les centres des gouttières ont un régime des eaux différent, qui demande d'autres pratiques de riziculture. La remontée capillaire proprement dite est moins exploitable, la nappe n'est pas directement affleurante à partir de la profondeur. Ce sont ces sorties latérales (et amont) qui contribuent à l'inondation « circulante » de cette partie centrale de la gouttière.

La difficulté sera donc de retenir au maximum cette eau afin d'éviter que le sol ne se dessèche pendant les arrêts aléatoires de la période pluvieuse. Ce tronçon constitue le site le plus défavorable du bas-fond. C'est là que les coups du régime hydrique sont les plus accusés et que le riz risque de souffrir le plus de ces stress et de leurs conséquences, qui sont les ruptures dans l'alimentation minérale et la sensibilité accrue à la pyriculiose. Contrairement aux sols alluviaux situés plus en aval, les sols sont ici pauvres et massifs ; du fait du colmatage de leur porosité, ils transmettent très lentement les eaux et sont donc confinés et peu aérés (contrairement aux sols gris sableux précédents) : les enracinements sont peu développés et peu profonds, ce qui accentue l'effet néfaste des successions fréquentes et brutales inondation-exondation. Un dessèchement du sol sur 20 cm suffit à affecter le riz. Pour améliorer la situation, on peut prévoir des systèmes de diguettes de 30 à 40 cm de haut ouverts sur les flancs latéraux du bas-fond. Il faut, en même temps, améliorer la qualité physique du sol et sa capacité d'absorption de l'eau.

Les tronçons aval

Généralement plus larges (plus de 100 m), transversalement horizontaux, à pente longitudinale plus faible qu'en amont, à remblai alluvial donc à sols relativement plus fertiles qu'ailleurs et à petit cours d'eau bien canalisé dans un lit sinueux, ces tronçons constituent les parties les plus importantes et les plus intéressantes des réseaux de bas-fonds soudano-guinéens : ils peuvent avoir jusqu'à 10 km de long. Leurs bassins versants ont des superficies inférieures à 75 km². Au-delà, on passe à un autre type de vallée, ne rentrant pas dans la catégorie des bas-fonds.

Ces tronçons sont sporadiquement inondés avec un décalage de un à deux mois après le début des pluies, délai nécessaire au remplissage du réservoir aquifère des altérations du bassin versant. À ce moment, les écoulements hypodermiques et les ruissellements sur les versants deviennent très actifs, les nappes phréatiques affleurent en amont et en bordure des bas-fonds. Toutes ces eaux

convergent, cumulent leurs débits et leurs effets dans les tronçons alluviaux, où les cours d'eau débordent. Le régime des eaux est donc complexe. Le remblai alluvial, qui repose sur une argile sableuse colmatée — souvent montmorillonitique et vertique —, contient lui-même une nappe phréatique nourrie ou drainée, suivant l'époque, par le cours d'eau. Ce réservoir peut alimenter par capillarité la partie supérieure du sol, qui a généralement d'excellentes aptitudes physiques pour cela (argile limoneuse, poreuse, sans lentilles sableuses fréquentes). C'est une autre propriété intéressante de ces tronçons (que ne possèdent pas les tronçons amont) qui leur permet d'avoir, en général, un bon volant hydrologique leur assurant une autonomie suffisante si dix jours de sécheresse surviennent. Une fois que le riz est bien installé, en pleine saison des pluies, ce n'est donc généralement pas la sécheresse du sol qui est à craindre ici, comme sur les sols argilo-sableux colmatés de l'amont. Il ne faudra cependant pas rectifier et surcreuser excessivement le lit du cours d'eau, ce qui aurait pour effet de rabattre cette nappe et de supprimer son effet bénéfique. Les matériaux des levées artificielles de protection contre les débordements ne doivent pas provenir du raclage du fond du lit.

L'objectif des aménagements est de régulariser le régime d'inondation, d'éviter que l'enracinement ne passe trop souvent et trop brutalement du confinement total à l'aération, c'est-à-dire pour le sol, de l'engorgement (conditions réductrices) au ressuyage (conditions oxydantes). Ceci est très préjudiciable au développement racinaire et à l'alimentation minérale, en particulier à l'alimentation azotée. Les répercussions de tels régimes hydriques, fluctuant en cours de saison, sur les éléments minéraux et l'activité biologique, en relation avec la riziculture, n'ont pas fait l'objet, à notre connaissance, de recherches spécifiques. C'est un thème fondamental à aborder en riziculture de bas-fonds, qui conditionne les critères de sélection pour la recherche des « bonnes » variétés.

L'amélioration des conditions naturelles peut nécessiter, en conditions semi-intensives, un système d'irrigation-drainage en casiers planés et entourés de diguettes. L'eau pourra être captée, si les débits sont suffisants, à partir de prises au fil de l'eau à l'arrière de vannes mobiles barrant le lit ; on peut construire également de petites retenues (moins de 3 m de haut) en travers du bas-fond, comme on peut le faire en région plus sèche.

Les bas-fonds du troisième type : les « dembos » d'Afrique orientale

Environnements et caractéristiques

Ces bas-fonds, appelés « dembos » (terme swahili) caractérisent les paysages d'Afrique orientale et sud-orientale sur socle granito-gneissique, à pluviométrie

moyenne annuelle comprise entre 1 000 et 1 500 mm (firme 3). Il s'agit de ce que les géomorphologues appellent la « surface africaine », englobant les surfaces d'aplanissement mi-tertiaire et fin-tertiaire, situées entre 800 et 1 400 m d'altitude. Le modelé est constitué de larges ondulations convexo-concaves dont les points bas sont occupés par les dembos, qui sont des bas-fonds très évases. La végétation naturelle est généralement une savane arborée à *Brachystegia* (« miombo »). Les sols des interfluves sont des sols ferrallitiques reposant sur d'épaisses altérations logeant une nappe phréatique permanente et fluctuante. L'activité des termites du genre *Macrotermes*, à édifices en dômes de plusieurs mètres de haut, est ici prépondérante sur la morphologie des sols : une couche supérieure de recouvrement termitique, très filtrante et homogène, de un à quelques mètres d'épaisseur, repose, par l'intermédiaire d'une nappe de gravats, sur la plinthisse (argile kaolinique tachetée) souvent légèrement indurée mais néanmoins très filtrante. En dessous se trouve la roche « pourrie » argilo-sableuse, constamment saturée d'eau, pouvant avoir plus de 10 m d'épaisseur. Dans ces matériaux, l'infiltration des eaux pluviales est très forte ; il y a peu de ruissellements sur sol couvert ; les nappes phréatiques sont donc bien alimentées. Ces régions, contrairement à l'Afrique nord-occidentale, n'ont été affectées que modérément par les fluctuations climatiques du quaternaire. Les influences des périodes glaciaires et interglaciaires européennes ont été moins ressenties au sud de l'Équateur. Il s'ensuit qu'en Afrique sud-orientale les démantèlements des surfaces antérieures, les rabattements des nappes et les indurations ferrugineuses concomitantes ont été moins intenses et se sont déroulés de façon plus régulière, en fonction de l'évolution naturelle des niveaux de base : il n'y a pas, comme dans la zone soudanienne, de buttes et plateaux reliques fortement indurés. Quand elle existe, l'induration se limite au carapacement non généralisé des plinthisses lié à la baisse régulière des nappes, drainées par l'enfoncement progressif des niveaux de base généraux. Elle n'a pas entravé l'élargissement latéral des bas-fonds (voir précédemment). L'histoire morphoclimatique régionale est donc prépondérante dans la structure et le fonctionnement des réseaux de drainage actuel.

Les « dembos » (figures 2 et 3) sont très larges et donnent l'impression d'être assez peu encaissés dans le paysage. Ils présentent des flancs très évases, concaves et à pentes fortes (jusqu'à 5 %), à sols gris sableux, lieux d'affleurements et d'écoulements latéraux ou de maintien à faible profondeur de la nappe phréatique pendant une grande partie de l'année. Ces sables, épais de 1 à 2 m, reposent sur la plinthisse meuble de laquelle ils dérivent par dégradation et lavage sélectifs des particules argileuses puis fluage partiel et superficiel du résidu sableux. La gouttière centrale, à profil transversal beaucoup moins pentu, est occupée par des sols argileux, vertiques et « planiques », c'est-à-dire qui montrent en surface (sur environ 20 cm) un horizon limono-sableux blanchi et poreux, reposant avec une discontinuité très brutale sur le

matériau argileux à caractères vertiques riche en montmorillonite (argile gonflante). Ce niveau, une fois saturé d'eau et « gonflé », est totalement infranchissable par l'eau libre, par le haut comme par le bas. Il maintient en dessous de lui, dans l'arène non colmatée sous-jacente, une nappe phréatique sub-artésienne, c'est-à-dire en charge et qui est susceptible de remonter au-dessus de la surface du sol si on perce à la tarière l'argile montmorillonitique de 1 à 2 m d'épaisseur (et ceci, même en saison sèche). Au-dessus, une nappe d'inondation, alimentée latéralement à partir des flancs sableux où suinte librement la nappe, s'écoule lentement, indépendamment de la nappe profonde.

Le couple « sols gris sableux lavés latéraux - sols vertiques colmatés et confinés centraux » n'est pas particulier aux dembos. Nous l'avons déjà signalé. Mais, alors qu'il est assez discret ailleurs (types 1 et 2), il s'exprime et se déploie de façon particulièrement nette dans les dembos, jusqu'à marquer de façon spécifique leur physionomie et leur fonctionnement, ce qui permet de les ranger dans une catégorie très nettement différenciée des autres. Cette bipolarité morphologique caractérisant les deux extrémités de l'hydro-toposéquence transversale du dembo est le résultat d'un couple de processus à effets remontants, à la fois en opposition et en complémentarité dynamique : d'une part, lavage et fluage (se traduisant globalement par une suffosion régressive et un élargissement latéral du dembo en compétition avec les sols rouges des versants dominants), d'autre part, en aval, envahissement remontant d'un matériau kaolinique (préalablement lavé de la même façon) par de la montmorillonite néoformée. La nappe phréatique, par ses mouvements verticaux et latéraux, est l'agent mobilisateur actif de tous les matériaux en transit, et le médiateur de tous ces processus mécaniques, physico-chimiques et géochimiques.

Ces processus, liés aux rabattements naturels des nappes par enfoncement régulier des niveaux de base périphériques, ne sont pas contrariés — comme c'est le cas en région soudanienne —, par l'induration ferrugineuse corrélatrice des interfluves. Les dembos, qui ont communément plusieurs centaines de mètres de large, sont susceptibles, en certaines régions d'Afrique orientale, de s'élargir en vastes plaines que l'on peut alors interpréter comme de véritables surfaces d'aplanissement en cours de formation, donnant l'impression de digérer progressivement les sols rouges, qui subsistent à l'état d'îlots résiduels. La ligne d'inflexion entre la large convexité des versants à sols rouges et la concavité du dembo à sols gris est très fréquemment renforcée par un alignement de grosses termitières en dôme (2 à 4 m de haut), particulièrement proches les unes des autres à cet endroit précis.

Conséquences pour la riziculture

Les deux types de milieu fondamentaux qui caractérisent les dembos, c'est-à-dire les flancs sableux et les parties centrales argilo-vertiques, bien que liés l'un à l'autre

INTERFLUVES

SURFACE « AFRICAINE » (MI À FIN TERTIAIRE) SUR GRANITO-GNEISS. ALTITUDE MOYENNE : 1 400 M. MODÈLE COLLINAIRE À LARGES ONDULATIONS.



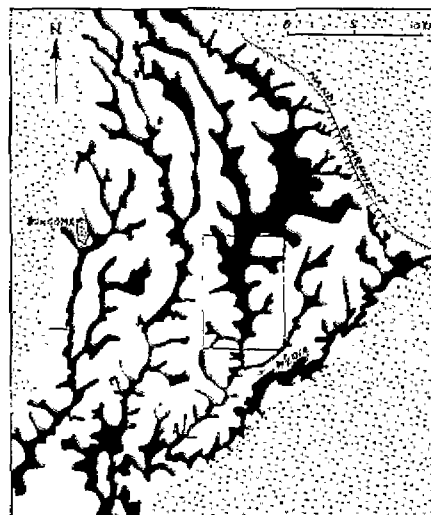
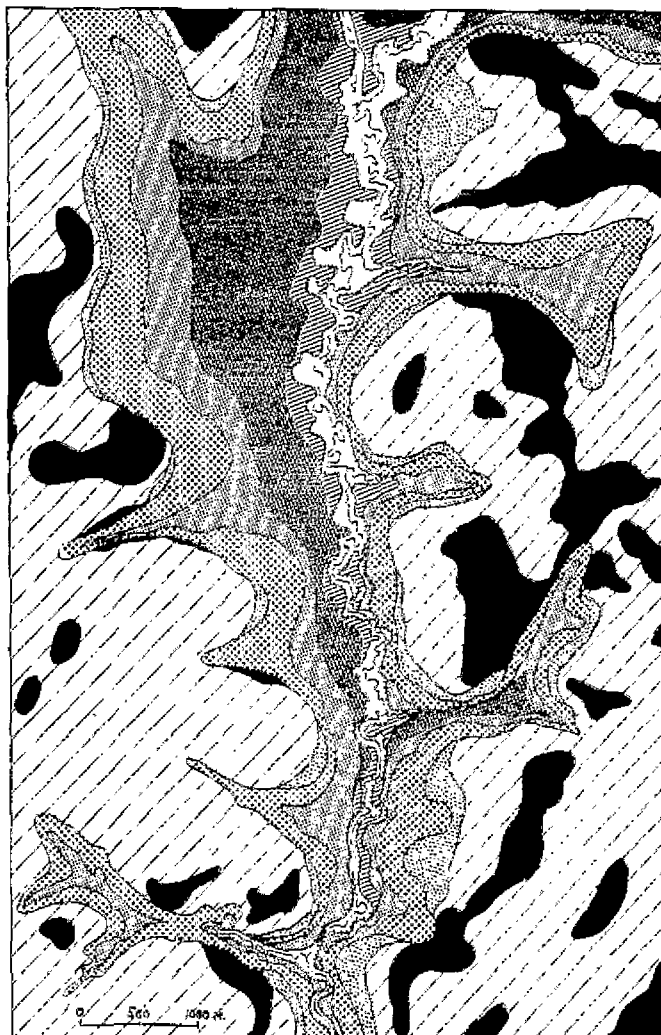
Sols ferrallitiques très frittants. Présence d'une plinthite carapacée et d'une nappe de gravats à plus de 1 m de profondeur. Recouvrement ocre ou rouge d'origine biologique (termitas).



Nappe de gravats et plinthite carapacée à moins de 1 m de profondeur.



Bas de versants bordant les dembos. Sols ferrallitiques en début de dégradation (décoloration, destruction et lavage des argiles (kaoliniques) par les mouvements latéraux sub-superficiels de la nappe phréatique en hivernage).



BAS-FONDS (DEMBOS)

VALLONS ÉVASÉS CONCAVES SANS MATÉRIAUX DE REMBLAIENT.



Plans concaves (parties amont) des dembos. Sols gris hydromorphes, sableux et lavés, au-dessus de l'argile tachetée kaolinique (plinthite). En cours de dégradation par les circulations latérales de la nappe phréatique (affleurement généralisé en hivernage).



Plans concaves (parties aval) des dembos. Sols gris hydromorphes, sableux et lavés, semblables aux précédents, mais pour lesquels la plinthite sous-jacente s'enrichit progressivement en montmorillonite en même temps qu'apparaît une discontinuité brutale entre les deux matériaux.



Gouttières centrales des dembos (s'ils sont suffisamment élargis). Vertisols hydromorphes « planiques » : néoformation de montmorillonite dans l'arène sablo-micacée en place. En même temps, dégradation superficielle de cette argile : horizon superficiel limoneux blanc reposant par une discontinuité brutale sur l'argile verte.



Parties mieux drainées des vertisols de la gouttière centrale, lorsque dans celle-ci s'emboîte un remblai alluvial. Franges situées au-dessus des talus qui dominent le remblai.

REMBLAI ALLUVIAL



Alluvions récentes et actuelles, de nature kaolinique, inondables par les crues. Ce remblai est emboîté dans la gouttière centrale des dembos les plus larges.

Figure 3 : Les dembos du Kenya occidental (région de Bungoma). Esquisse morphopédologique.

génétiqnement, sont affectés par deux modes d'hydromorphie très différents et se prêtent donc à une mise en valeur par la riziculture selon deux modalités bien distinctes.

Les sols gris sableux des flancs concaves

Par rapport aux autres familles de bas-fonds où ce type de milieu est également souvent représenté mais assez discrètement, dans les dembos les sols gris prennent une extension considérable, jusqu'à en représenter parfois plus de la moitié de la superficie. Ils sont caractérisés par des pentes sensibles (jusqu'à 6 % en amont), donc non vraiment inondables mais lieux d'affleurement libre de la nappe phréatique aérée à rapide circulation latérale. En saison des pluies, les cultures vivrières autres que le riz donnent généralement de mauvais résultats sur ces sites. Seul le maïs a montré qu'il pouvait se maintenir, si toutefois on assure un drainage artificiel.

La nappe, en saison sèche, ne descend pas à plus de 2 m de profondeur ; elle fluctue dans les 50 cm supérieurs en hivernage, un à deux mois après le début des pluies. Un facteur important à considérer, vers l'aval du glacis à sols gris, est l'enrichissement progressif en montmorillonite de l'argile kaolinique tachetée (plinthite) située sous le niveau sableux supérieur et l'apparition concomitante d'une discontinuité brutale séparant les deux matériaux. Cette différenciation a pour effet de gêner la remontée verticale de la nappe phréatique profonde en hivernage et sa capillarité en saison sèche. En conséquence, et semble-t-il paradoxalement, le dessèchement du sol en saison sèche est d'autant plus accentué que l'on se trouve (sur une même transversale) en position plus aval du glacis à sols gris. Pour la riziculture, il y a plus de risques à semer trop tôt en aval qu'en amont, position où la capillarité de la nappe remontante peut plus efficacement et plus rapidement prendre le relais des pluies et compenser leur irrégularité habituelle de début de saison. De toute façon, sur ces sols une date de semis précoce n'est pas obligatoirement à rechercher ; on peut attendre sans inconvénient que la nappe atteigne 50 cm de profondeur. Le retard pris en début de saison des pluies est généralement aisément rattrapé par la suite, même après la fin des pluies, puisque le toit de la nappe se maintient à moins d'un mètre de profondeur encore quelques mois. Dans les régions d'altitude ou de relative basse latitude d'Afrique orientale, il faudra cependant tenir compte des contraintes thermiques, qui peuvent interdire de déborder trop sur la saison sèche et fraîche. Par contre, d'autres cultures que le riz peuvent être envisagées en contre-saison, par exemple les fourrages ou le blé.

Lorsque la culture est installée et lorsque la nappe phréatique a suffisamment « gonflé », l'enracinement du riz exploite une couche sableuse saturée en quasi-permanence par de l'eau circulante renouvelée, donc relativement aérée. L'enracinement en conditions d'hydromorphie aérée est mieux développé qu'en hydromorphie confinée. Ce type d'hydromorphie très particulier est

bénéfique à la riziculture. L'expérience a montré qu'en Casamance, au Sénégal, sur des sols gris comparables (travaux de BERTRAND *et al.*, 1978), le riz donne toujours des rendements supérieurs à ceux obtenus sur les sols bien drainés voisins en conditions strictement pluviales. Il y a une interaction forte : alimentation hydrique illimitée en condition aérée - alimentation minérale. Même en l'absence de fertilisation, les rendements sont d'un niveau acceptable, de l'ordre de 2 t/ha. Avec une fertilisation adéquate, surtout phosphatée, le potentiel peut être trois fois plus élevé. D'autre part, fait assez remarquable, sur ces sols les rendements en « riz sur riz » restent corrects pendant plusieurs années en l'absence de rotation avec d'autres cultures. Les sols ne subissent donc ni dégradation ni épuisement apparents. Pour expliquer ces résultats assez surprenants sur de tels sols sableux acides et très appauvris par le lessivage (les analyses le montrent), il faut supposer que les nappes phréatiques circulantes apportent certains éléments minéraux. Bien qu'à notre connaissance ce fait n'ait pas été démontré de façon décisive, il semble cependant très vraisemblable quand on se souvient que ces nappes d'eau ne sont pas de simples nappes perchées de versants qui ne laveraient que des sols déjà appauvris où il n'y aurait rien à gagner, mais plutôt les parties supérieures d'une nappe phréatique d'altérite, profondément « enracinée » et baignant la roche pourrie en cours d'hydrolyse, donc riche en cations (Ca, Mg, K) et en silice. Ces éléments solubles sont susceptibles d'une migration ionique aisée et régulière vers le toit de la nappe qui gonfle jusqu'en surface et imbibé les systèmes racinaires avec renouvellements constants. En ce qui concerne l'azote, le problème est différent. GANRY (1974) pense avoir mis en évidence, sur les mêmes sols gris du Sénégal, l'effet positif d'un tel régime hydrologique sur la fixation d'azote atmosphérique dans la rhizosphère du riz. Cette fixation est favorisée par la teneur en matière organique et le développement racinaire, qui servent de supports microbiens. Les apports d'azote sont donc quand même indispensables pendant les deux premiers mois au moins, c'est-à-dire jusqu'à ce que l'enracinement bien installé et la nappe phréatique suffisamment haute puissent bien jouer leur rôle. Dans ces sols, la fertilisation doit être fractionnée pour tenir compte de son lessivage rapide par la nappe phréatique. Cependant, tous ces effets bénéfiques, qu'à titre d'hypothèse on peut attribuer à la dynamique de la nappe phréatique, ne compensent pas une carence fondamentale en phosphore qui est le premier facteur limitant.

À côté des aspects bénéfiques de ce type de régime hydrologique, il faut mentionner quelques contraintes.

La sensibilité à l'érosion est certaine : les pentes sont généralement fortes (jusqu'à 6 % à l'amont) et les sols ont une faible stabilité structurale. Tant que la couverture végétale n'est pas assurée, ils sont particulièrement vulnérables à un fluage superficiel, surtout quand ils sont gorgés par la nappe phréatique affleurante. Des techniques bio-culturelles de conservation du milieu doivent donc être étudiées : si possible travaux suivant les courbes de

niveau, utilisation de variétés à fort tallage, apport de fumier, régénération régulière par des jachères à légumineuses sur une ou plusieurs années, culture d'engrais vert en saison sèche (à partir de la remontée capillaire) ; en riziculture mécanisée, il faut éviter les engins lourds et les travaux trop répétés. La réalisation d'aménagements proprement dits du type banquettes disposées suivant les courbes de niveau peut être envisagée, à condition de ne pas créer en même temps des gouttières ou chenaux susceptibles de rabattre la nappe phréatique (ce qui serait à rechercher pour des cultures autres que le riz). Cependant, ces ouvrages en matériaux sableux ont une faible tenue et se dégradent vite.

Une autre contrainte de ce type de milieu qui est encore plus pesante qu'en conditions pluviales strictes : l'envahissement par les mauvaises herbes du type *Cyperus*, qui trouvent ici des conditions idéales de prolifération et qui sont souvent difficiles à éliminer.

Enfin, il faut signaler que, dans le détail, les sols gris des dembos présentent des modalités variables de mise en valeur, qui dépendent en particulier des facteurs climatiques : longueur de la saison des pluies, répartition des pluies, températures (donc altitude) ; à ces facteurs sont liées les dates de semis optima, les longueurs de cycle à rechercher, la possibilité éventuelle de cultiver deux cycles de riz dans l'année, l'intégration dans la rotation de cultures de contre-saison, etc. En gros, plus on descend en latitude (en restant toutefois dans le domaine des dembos) plus la pluviométrie est contrastée et réduite (de 1 500 mm dans l'ouest du Kenya à 1 000 mm dans le sud du Zimbabwe) et donc plus il faudra s'intéresser à des variétés à cycle court et aux dates de semis. De même, l'augmentation de l'altitude accompagne l'allongement des cycles, dont l'interdiction de faire deux cycles de riz. La combinaison pluviométrie-altitude, en Afrique orientale et sud-orientale, est donc particulièrement déterminante.

Les sols argileux vertiques de la gouttière centrale

Les conditions hydriques et hydrologiques sont ici totalement différentes : elles permettent la riziculture inondée, et excluent en général toute autre culture, sauf conditions particulières comme par exemple quand il existe un cours d'eau central assez encaissé pour assurer un drainage naturel des vertisols sur une bande étroite de part et d'autre de son lit.

L'inondation est ici assurée surtout par les écoulements latéraux en provenance des flancs sableux du dembo. Elle ne dépasse généralement pas 40 cm d'épaisseur, du fait d'une pente longitudinale assez sensible. Ces écoulements sont toujours en retard, au moins d'un mois et demi, par rapport au début des pluies. Mais, une fois commencés, ils sont relativement réguliers. Il se crée donc une nappe perchée d'inondation saturant l'horizon blanchi limono-sableux lavé supérieur (de 20 à 30 cm d'épaisseur) et reposant sur le substratum argilo-vertique colmaté

totalement imperméable. Sous ce niveau de 1 à 2 m d'épaisseur se trouve la vraie nappe phréatique d'altérite en charge, qui ne peut donc pas, en saison sèche, humidifier par capillarité la surface du sol, contrairement à ce qui se passe pour les sols gris latéraux.

Ces gouttières se prêtent donc en général à une riziculture en rizière, c'est-à-dire en parcelles cloisonnées et planées (casiers), entourées de diguettes ; ces casiers communiquent les uns avec les autres et sont parcourus par un réseau minimum d'amenée d'eau, grâce auquel on maintient une lame d'eau aussi régulière que possible. L'imperméabilité totale du substrat argilo-vertique favorise le maintien d'une telle lame d'eau avec le moins de perte possible. Les fonds des dembos présentent en général une pente suffisante pour assurer un écoulement lent d'un casier à l'autre. Dans ces dembos, l'absence d'arrivées brutales d'eau (contrairement à ce qui se passe dans les bas-fonds des types 1 et 2) est favorable à ce type de riziculture. Les à-coups du régime pluviométrique sont ici bien amortis, aussi bien en périodes d'averses violentes qu'en périodes de sécheresse. La transformation d'un régime d'arrivée saccadé des eaux de pluie en un régime régulier et étalé de restitution de ces mêmes eaux est réalisé grâce à l'épaisseur importante et aux remarquables capacités d'absorption des matériaux des interfluves qui assurent un bon volant hydrologique et grâce à l'ampleur de la surface de « résurgence » que constituent les sols gris.

La pratique du repiquage est possible quand il existe des sites inondables ou irrigables privilégiés qui se prêtent précocement à la réalisation de pépinières (bordures de cours d'eau pérennes ou proximité de mares permanentes, par exemple). Ce type de riziculture nécessite une excellente préparation des casiers : planage, labour, hersage, précédant la mise en boue puis le repiquage. Des conditions aquatiques régulières permettent de réduire fortement la contrainte que représentent les mauvaises herbes, ce qui est un avantage appréciable par rapport aux sols gris sableux voisins. Ce type de riziculture est encore peu connu en Afrique orientale, où il existe cependant un gros potentiel en dembos. Il demande une assez bonne technicité pour la maîtrise de l'eau et le travail du sol.

Comme pour les sols gris, la longueur du cycle, les dates de semis ou de repiquage, et le nombre de cultures annuelles sont largement dépendants des régimes pluviométriques et thermiques.

Les bas-fonds du quatrième type : les régions humides

Environnements et caractéristiques

Cette catégorie de bas-fonds caractérise le plus souvent les régions humides à plus de 1 400 mm de pluviométrie

moyenne annuelle. La végétation naturelle est soit une forêt sempervirente, soit une savane arborée, soit une mosaïque forêt-savane. Le modelé le plus « pur » est celui des « demi-oranges » à collines convexes en pentes fortes séparées par des bas-fonds plats bien enfoncés (jusqu'à 50 m d'encaissement).

Les reliefs, sur granito-gneiss, sont matelassés d'altérations ferrallitiques très profondes, pouvant dépasser 40 m, qui sont terminées par des sols rouges ou ocres épais, très homogènes et très filtrants. Une « stone line » ou nappe de gravats (à quartz ou graviers ferrugineux) les sépare de l'altération en place (plinthite ou bien roche pourrie). La plinthite, lorsqu'elle existe, peut être irrégulièrement indurée (surtout en Afrique occidentale humide et il peut alors s'agir d'héritages paléoclimatiques) mais elle ne gêne pas, bien au contraire (nombreux canalicules), la percolation des eaux pluviales. Les sols, contrairement à ce qu'on peut observer en régions plus sèches, n'ont pas subi de fortes troncatures ni de dégradation par le haut (avec lavages, colmatages et discontinuités par exemple) qui seraient susceptibles de gêner la bonne infiltration profonde des eaux. Le ruissellement est quasiment nul, ainsi que les écoulements hypodermiques. Les nappes phréatiques sont donc toujours présentes et bien alimentées ; elles baignent une grande épaisseur d'altérites ; si on met à part leur cloisonnement possible du fait de la lithologie et de l'altération différentielles, leur toit épouse grossièrement, avec un certain amortissement, les fortes dénivellations du modelé ; ces particularités leur permettent d'affleurer systématiquement — ou de rester à faible profondeur en saison sèche —, dans les bas-fonds, du fait d'un rééquilibrage hydrodynamique constant. L'absence de ruissellement sur les versants élimine les possibilités de régimes d'écoulements violents dans les petites vallées avec leurs effets néfastes de « chasse d'eau » (contrairement aux régimes des bas-fonds des deux premiers types).

Les bas-fonds sont généralement à fond plat se raccordant assez brusquement (une petite concavité intermédiaire existe parfois) aux versants convexes. Leur pente longitudinale peut être élevée (jusqu'à 5 % à Madagascar). La largeur (20 à 300 m) n'a rien à voir avec la taille du bassin versant ; le bas-fond montre au contraire un très net élargissement en tête (amphithéâtre bien encaissé), puis des successions de rétrécissements et de lobes, adaptés à la lithologie du socle (alternance de biefs et de seuils rocheux). Les bas-fonds, dans les branches amont du réseau, ne sont pas entaillés (absence de cours d'eau) ; la nappe y est constamment sub-superficielle. Les sols y sont alors tourbeux en surface, sableux en profondeur (lavage latéral de l'altérite en place ou « fluée »). À l'inverse de ce qui se passe dans les autres types de bas-fonds, le colmatage de ce matériau est rare ; il y a engorgement quasi-permanent du fond de la vallée, mais pas de confinement réel : la pente longitudinale et la pression hydrostatique de la nappe, permettant un écoulement continu vers l'aval, s'y opposent ; le milieu hydrologique est « ouvert » et assure l'évacuation des produits d'hydrolyse

et de lavage des altérites (bases, silice, argiles colloïdales). D'autre part, cette circulation permanente des eaux, ajoutée à l'absence de dessiccation saisonnière des matériaux, empêche toute néoformation d'argile montmorillonitique dans ce type de bas-fond, contrairement à ce que l'on observe dans les bas-fonds des types précédents.

Les branches aval des réseaux, entre leurs parties tourbeuses et les vraies vallées alluviales à régimes plus brutaux, s'élargissent (plus de 200 m en général) et sont entaillées par un cours d'eau ; elles sont remblayées d'argile ou de limon plus ou moins organiques indiquant des conditions de décantation calme de particules fines mais gênant l'accumulation de tourbe pure. Ces sols sont inondés en saison des pluies ; ils ne sont jamais secs, bien que la nappe puisse descendre jusque vers 1 ou 2 m de profondeur en saison sèche, le cours d'eau assurant le drainage.

Conséquences pour la riziculture

Contrairement aux bas-fonds du type 1 — qui constituent le pôle opposé du point de vue du régime hydrologique —, les bas-fonds de cette famille ne sont exposés ni aux risques de sécheresse du sol ni à la brutalité et à la rapidité des écoulements. Au contraire, c'est ici l'excès d'eau qui est à craindre. Le sol ne se dessèche pratiquement jamais. La maîtrise de l'eau en excès en provenance de la remontée verticale de la nappe phréatique et la mise en valeur des sols souvent tourbeux sont les conditions de la riziculture de ces bas-fonds des régions humides.

Le réseau hydrologique peut généralement, du point de vue de l'utilisation agricole, être subdivisé en une partie amont très tourbeuse, sans alluvions et sans cours d'eau individualisé et une partie aval moins tourbeuse, à dépôts argileux en conditions calmes et à petits cours d'eau. Après quoi, on débouche dans les vallées et plaines alluviales classiques qui, par leur taille et leur fonctionnement, ainsi que par l'importance des aménagements qu'elles nécessitent, sortent de la catégorie des bas-fonds.

Les parties amont du réseau

Ce sont les bas-fonds proprement dits, au sens étroit du terme, à terminaisons élargies en amphithéâtres, larges de 10 à 50 m, sans nette entaille de cours d'eau, à sols tourbeux en surface — d'autant plus que l'on est en altitude et que les températures sont fraîches —, sableux en profondeur, quasiment constamment engorgés. La taille du bassin est alors de l'ordre de 2 à 8 km² et la densité du réseau est souvent élevée (aspect en « bois de renne »). La nappe est ici toujours affleurante et engorge la tourbe lâche et spongieuse épaisse. L'utilisation de ce type de bas-fond est assujettie à la maîtrise délicate de ce plan d'eau, à la récupération des sols « tourbeux sur sableux » et parfois à un défrichement préalable pénible (raphias, etc.). La riziculture aquatique, seule envisageable, peut difficilement se contenter de ces conditions hydro-pédo-

logiques naturelles ; il est nécessaire de réaliser des aménagements préalables consistant d'une part en la création d'un support stable nécessaire aux travaux culturaux et à l'enracinement du riz, et d'autre part en l'amélioration et la régularisation, autant que faire se peut, du régime hydrologique d'inondation. En effet, une soumission totale au régime de fluctuation verticale de la nappe phréatique est très préjudiciable car elle expose à une fréquente variation de la lame d'eau pouvant submerger le riz, ce qu'il faut toujours éviter. Sol stable et contrôle de l'inondation en surface sont d'ailleurs très liés. Le brûlage de la tourbe n'est généralement pas une bonne solution, car cette technique, en abaissant la surface topographique, conduit à rendre encore plus difficile le contrôle du plan d'eau. Une autre technique, activement pratiquée et maîtrisée par les paysans des Hauts-Plateaux malgaches, est le recouvrement de la tourbe ou son mélange avec des « amendements » argileux destinés à créer un sol stable et à colmater le fond de la vallée ; ceci de façon à y maintenir, par la construction de diguettes isolant les rizières en casiers, une lame d'eau d'épaisseur à peu près constante. L'argile de recouvrement provient du raclage des altérites ferrallitiques des bas-versants pentus latéraux immédiats. Cette pratique permet en même temps au paysan d'élargir un peu sa rizière et de rectifier, par des talus verticaux nets, les bordures des bas-fonds. À Madagascar, le labour, la mise en boue, le planage et le piétinage des rizières avant chaque campagne, puis le recouvrement par une lame d'eau, contribuent à ce colmatage progressif qui s'améliore peu à peu. On peut ainsi réussir à maintenir plus ou moins en charge la nappe phréatique en l'empêchant de remonter verticalement en surface, dans l'axe du bas-fond, alors qu'elle continue à s'écouler en inféoflux ; en surface, sur les parcelles planées et cloisonnées, peut alors se maintenir une nappe perchée d'inondation d'épaisseur contrôlée (10 à 20 cm), s'écoulant en gradins d'une rizière à l'autre, gouvernée par la fermeture ou l'ouverture de diguettes. En général, ces petits aménagements s'accompagnent du creusement de drains sur les bordures du bas-fond pour capter les afflux latéraux de la nappe phréatique et les redistribuer dans les rizières. On peut ainsi arriver à une excellente maîtrise de l'eau, comparable à ce qu'on obtient en riziculture irriguée. Une telle technique, pour donner des résultats corrects, nécessite cependant une pente longitudinale sensible du bas-fond, de façon à ce qu'il y ait une circulation et des renouvellements naturels suffisamment rapides de la lame d'inondation vers l'aval. Ce type de milieu, ainsi maîtrisé, se prête bien à la riziculture inondée et repiquée à rendements assez élevés.

La pratique et la réussite de cette riziculture dépendent des motivations, aptitudes et traditions socio-culturelles, ainsi que de la place que le riz, relativement à d'autres cultures, est susceptible d'occuper dans l'économie vivrière des terroirs. En Afrique, l'aménagement de ces types de bas-fonds est encore peu courant, contrairement à Madagascar où le riz est la base de l'alimentation et la rizière l'objet de soins prioritaires, en raison de l'héritage de traditions asiatiques.

Les parties avai du réseau

Au bout d'un certain nombre de jonctions de bas-fonds tourbeux, la vallée s'élargit (généralement plus de 50 m), un petit cours d'eau à écoulement permanent et débordements calmes s'individualise ; les sols, tout en restant assez riches en matière organique, perdent leur aspect franchement tourbeux. Ce sont le plus souvent des sols limoneux semi-organiques à « anmoor », montrant en profondeur des horizons tourbeux enterrés, puis du sable.

Les difficultés précédentes, dues à l'instabilité du support sol, disparaissent et le problème de la remontée excessive de la nappe phréatique ne se pose plus de la même façon. Le régime hydrologique se complique par le fait que maintenant un cours d'eau participe à l'alimentation de l'inondation de la vallée en même temps que la remontée verticale de la nappe phréatique. Mais celle-ci fluctue moins aisément et plus lentement qu'au travers de la tourbe et du sable des bas-fonds amont. À l'inverse, le niveau du cours d'eau central est étroitement lié à la vidange et au rabattement de la nappe phréatique de la petite vallée. Ces vallées se prêtent à une riziculture inondée et repiquée. La bonne maîtrise de la lame d'eau d'inondation demande de petits aménagements centrés sur l'exploitation optimale du cours d'eau : rectification du lit, bourrelets latéraux pour limiter les débordements, prises au fil de l'eau, répartition homogène de l'eau dans les rizières planées entourées de diguettes, drainage par des canaux latéraux évacuant l'eau en excès.

Pour les paysannats motivés, désireux de pratiquer une riziculture assez intensive et susceptible d'une bonne entente coopérative, on peut envisager, par une aide extérieure, la construction d'ouvrages de micro-hydraulique plus élaborés tels que de petits barrages de dérivation au niveau des seuils rocheux des vallées, prolongés par un réseau de distribution en aval. Ce type d'aménagement a été assez généralisé sur les Hauts-Plateaux malgaches et a démontré qu'il permet un bien meilleur contrôle de l'eau, et que, combiné avec l'amélioration des pratiques culturales, il augmentait très sensiblement la productivité des rizières.

Conclusion

La méthode structurale comparative nous a permis d'ordonner les systèmes de bas-fonds africains sur socle cristallin autour de quatre grandes familles de référence. Pour chacune de ces familles, nous avons tenté de dégager les caractéristiques pertinentes du point de vue de l'organisation, de la genèse, du fonctionnement et finalement de l'aptitude à la riziculture, sans la dissocier de son paysage environnant au sein duquel les bas-fonds sont en équilibre.

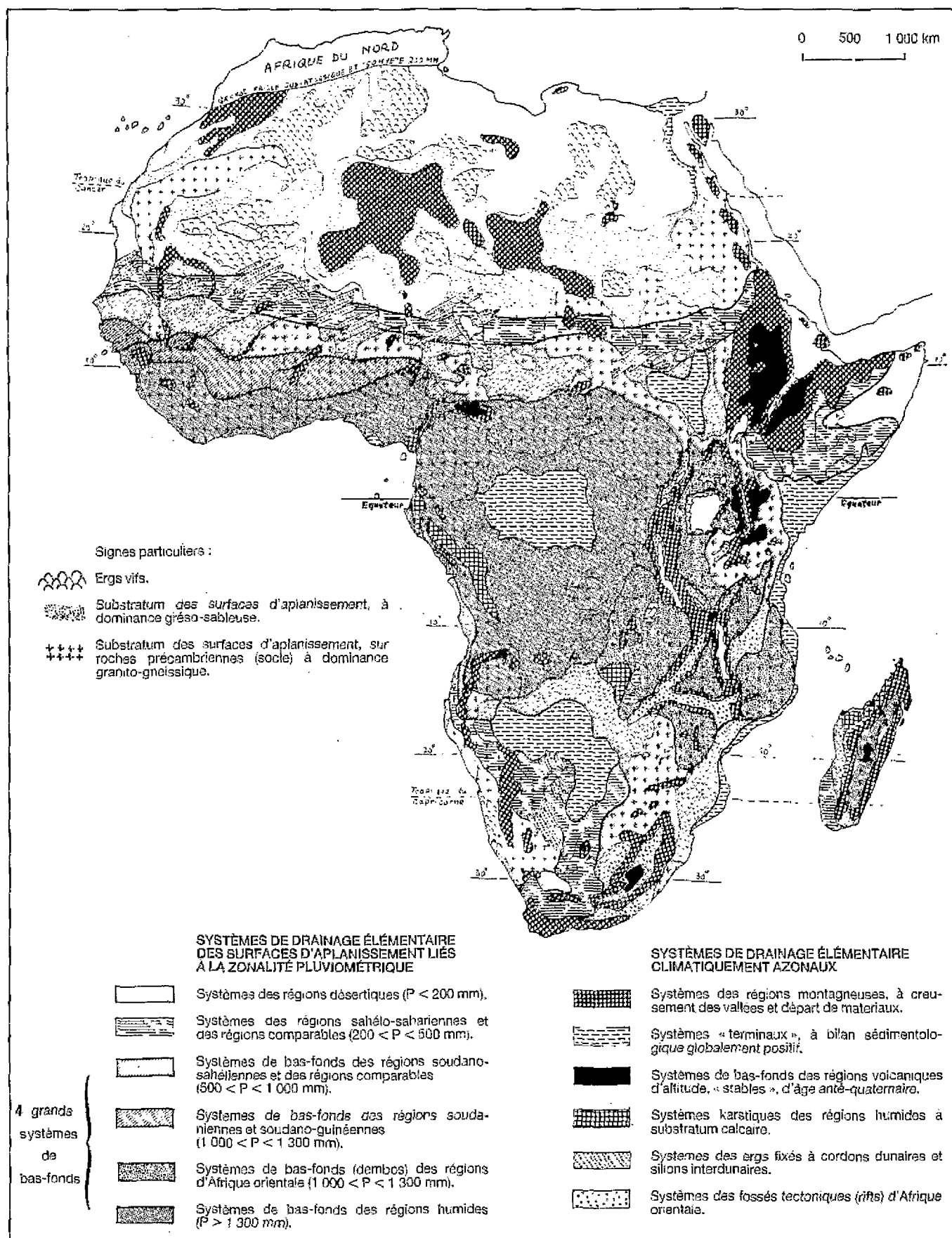


Figure 4 : Les principaux systèmes de drainage élémentaire en Afrique.

La différenciation de chaque famille de bas-fonds tient aux façons spécifiques dont se combinent et se modulent, en intensité et chronicité, un certain nombre de processus interdépendants, de nature mécanique, physico-chimique ou géochimique, affectant les divers matériaux : lavage, fluage, soutirage, colmatage, néoformation argileuse, alluvionnement, incision, induration ferrugineuse des versants, etc. L'importance relative, la « marge de manœuvre » et le déploiement spatial de chaque processus sont propres aux domaines morpho-climatiques considérés (domaines soudano-sahélien, soudano-guinéen, zambézien, humide). Ces processus ont pour agents essentiels les nappes phréatiques d'altérites, les nappes perchées ou les eaux de surface, dont les régimes hydrologiques sont en interaction avec les matériaux générés par ces mêmes processus. Les bas-fonds de chaque famille forment donc des systèmes naturels auto-régulés, à boucles de rétroactions spécifiques, évoluant vers un état en équilibre avec leur environnement propre, qui lui-même évolue (figure 4).

Les matériaux et les sols, associés à des régimes hydrologiques qui leur sont caractéristiques, déterminent des unités de milieu dont la répartition spatiale et les relations génétiques mutuelles au sein des bas-fonds obéissent à des lois. La disposition et l'importance de ces unités sont variables (elles peuvent être inexistantes) en fonction de la famille de bas-fonds considérée et de la situation à l'intérieur d'un même bas-fond : sables lavés et flués des têtes et flancs, arènes argilo-sablo-micacées sous-jacentes en place, argiles sableuses colmatées des tronçons amont, argiles montmorillonitiques de néoformation des gouttières centrales, remblais argileux des « flats » aval, lentilles de sables et graviers sous berge des bourrelets, carapaces ferrugineuses des versants voisins, etc.

Cette analyse structurale nous a montré que les bas-fonds, en région intertropicale, ne peuvent pas être considérés comme une entité homogène ni dans leur ensemble ni au niveau de l'individu. En conséquence, il n'y a pas une riziculture de bas-fond, mais plusieurs possibles ; chaque modalité est soumise à des contraintes et bénéficie d'avantages bien différents, directement liés aux régimes hydrologiques, aux rôles relatifs des eaux de nappe et des eaux de ruissellement, les unes étant alimentées par les pentes. Comprendre la dynamique naturelle des eaux peut permettre, avec le minimum d'aménagement, de mieux valoriser et maîtriser cette eau, élément si précieux en Afrique.

Reçu le 2 avril 1985.
Accepté le 15 mai 1985.

Références bibliographiques

- ARRIVETS J., 1973. Résultats de riziculture sans aménagement en zone soudanienne. L'exemple des bas-fonds du Centre Haute-Volta. *L'Agron. Trop.*, 28 (1) : 34-53.
- BERTRAND R., 1973. Contribution à l'étude hydrologique, pédologique et agronomique des sols gris sableux hydromorphes de Casamance (Sénégal). *L'Agron. Trop.*, 28 (12) : 1145-1192.
- BERTRAND R., SIBAND P., GANRY F., GUILLOBEZ S., 1978. Rice cultivation under hydromorphic conditions on the sandy gray soils of the lower slopes in Senegal. In : *Rice in Africa. Proceedings of a conference held at the International Institute of Tropical Agriculture, Ibadan, Nigeria, 7-11 March 1977*. I.W. BUDDENHAGEN and G.J. PERSLEY Edit., London, New York, San Francisco, Academic Press, p. 249-256.
- GANRY F., 1974. Première contribution à l'étude de la dynamique de l'azote en sols gris de Casamance. Paris, IRAT, 10 p.
- INTERNATIONAL RICE RESEARCH INSTITUTE, 1979. Rainfed lowland rice. Selected papers from the 1978 International rice research conference. Manila, IRRI, 341 p.
- KILIAN J., 1972. Contribution à l'étude des aptitudes des sols à la riziculture des bas-fonds sans aménagements dans le Nord Dahomey (bas-fonds de Sirarou et de Bagou). *L'Agron. Trop.*, 27 (3) : 321-357.
- LELONG F., 1966. Régime des nappes phréatiques contenues dans les formations d'altérations tropicales. *Sci. Terre*, 11 (2) : 203-244.
- RAUNET M., 1979. Importance et interactions des processus géochimiques, hydrologiques et biologiques (termites) sur les surfaces d'aplanissement tropicales granito-gneissiques. Exemple du Kenya occidental. *L'Agron. Trop.*, 34 (1) : 40-53.
- RAUNET M., 1980. Les bas-fonds et plaines alluviales des hautes terres de Madagascar. Reconnaissance morphopédologique et hydrologique. Aptitudes à la culture du blé de contre-saison. Montpellier, IRAT, 166 p.
- RAUNET M., 1985. Les bas-fonds en Afrique et à Madagascar. Géomorphologie, géochimie, pédologie, hydrologie. *Z. Geomorph.* N.F., Suppl. Bd 52 : 25-62.
- RAUNET M., 1984. Les potentialités agricoles des bas-fonds en régions intertropicales : l'exemple de la culture du blé de contre-saison à Madagascar. *L'Agron. Trop.*, 39 (2) : 121-135.
- SIBAND P., 1976. Quelques réflexions sur les potentialités et les problèmes des sols gris de Casamance (Sénégal méridional). *L'Agron. Trop.*, 31 (2) : 105-113.

Summary

RAUNET M. - Lowland rice farming in Africa. Approach by structural comparison.

A definition of the notion of « lowlands » is provided. Emphasis is placed on the peculiarities of this type of environment and its suitability for rice farming in intertropical regions, especially in Africa. The author then describes and compares the specific characteristics, the organization and the water-related behavior of the lowlands on a crystalline basement contained in the large African morpho-climatic domains (Sudano-Sahelian, Sudano-Guinean, Zambesian, damp). For each family of lowlands, the surface relief, the materials and the water economy is specified in relation to their landscape context. Each lowland area with its spatial differentiations, expressed in genetically interrelated « environmental units », and its operational dynamics, constitutes a small system which differs from one region to the next. Each unit has a specific suitability for rice farming and requires certain techniques for carrying it out. There is more than just one lowland rice farming method.

Key words : Rice farming, lowlands, ground water, hydromorphic soils, Africa.

Resumen

RAUNET M. – Bajíos y cultivo de arroz en Africa. Enfoque estructural comparativo.

Se ha definido el concepto de bajío ; se ha recalcado la originalidad de este tipo de medio y su interés para el cultivo del arroz en regiones intertropicales, especialmente en Africa. A continuación, se han analizado y comparado las características específicas, la organización y el funcionamiento hidrológico de los bajíos sobre zócalo cristalino dentro de los grandes ámbitos morfoclimáticos africanos (sudano-sahélico, sudano-guineano, zambeziano,

húmedo). La morfología, los materiales y los regímenes hidrológicos de cada familia de bajíos han sido precisados en relación con el contexto de paisaje circundante. Cada bajío, con sus diferenciaciones espaciales en « unidades de medio » en relaciones genéticas unas con otras, y con su dinámica de funcionamiento, constituye un pequeño sistema, diferente de un ámbito regional a otro ; cada unidad tiene una aptitud específica para el cultivo del arroz y exige técnicas particulares de manejo. *No existe un cultivo de arroz de bajío sino cultivos de arroz en bajíos.*

Palabras-clave : Cultivo de arroz, bajío, capa freática, suelos hidromorfos, Africa.